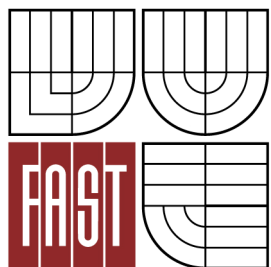




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

NAMRZAVOST NESTMELENÝCH SMĚSÍ VOZOVEK POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

THE FROST SUSCEPTIBILITY OF UNBOUND MIXTURES TO PAVEMENTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. KATEŘINA SURÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. DUŠAN STEHLÍK, Ph.D.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav pozemních komunikací

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Kateřina Surá
Název	Namrzavost nestmelených směsí vozovek pozemních komunikací
Vedoucí diplomové práce	Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2015
Datum odevzdání diplomové práce	15. 1. 2016
V Brně dne 31. 3. 2015	

.....
doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

ČSN 72 1191 Zkoušení míry namrzavosti zemin

ČSN EN 13285 Nestmelené směsi - Specifikace

ČSN EN 13 286-47 Stanovení poměru únosnosti zemin a zlepšených zemin

veřejně přístupné články a literatura z internetu

výzkumné zprávy zabývající se danou problematikou

diplomové práce z minulých let zabývající se podobnou problematikou

sborníky českých a zahraničních technických konferencí

apod.

Zásady pro vypracování

Práce je zaměřená na sledování namrzavostí nestmelených směsí. Cílem práce je ověřit na cca 6 nestmelených směsích nenamrzavost těchto materiálů. Kromě stanovení namrzavostí bude práce doplněna rozbořem nestmelených směsí.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....
Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena v teoretické části na rozbor nestmelených směsí, jejich provádění a kontrolu shody. Dále se zabývá určením míry namrzavosti přímou a nepřímou metodou v České republice a členských státech Evropské Unie.

Praktická část je zaměřena na provedení zkoušek na vybraných vzorcích nestmelených směsí u nichž byl postupně zvyšován obsah jemných částic a to přímou a nepřímou metodou určení míry namrzavosti a také vyhodnocení přímé metody upraveným způsobem, jež nepředepisuje příslušná norma. V závěru práce je provedeno zhodnocení vzorků a porovnání jednotlivých metod navzájem mezi sebou.

KLÍČOVÁ SLOVA

Nestmelená směs, mrazový zdvih, míra namrzavosti, působení mrazu, ledová čočka, Schleibleho kritérium, přímá zkouška namrzavosti, index mrazu, Proctorova zkouška, mrazuvzdornost, jemnozrné částice

ABSTRACT

The thesis is focused on the analysis of the theoretical part of the unbound mixtures, their implementation and compliance. Further deals with determining the extent frost susceptibility direct and indirect method in the Czech Republic and the Member States of the European Union.

The practical part is focused on the performance of tests on selected samples of unbound mixtures for which was gradually increased the content of fine particles and that direct and indirect method of determining the rate of frost susceptibility and also the evaluation of direct methods of particular customized way, which does not impose the appropriate standard. At the conclusion of the work is carried out an evaluation of the samples and comparison of the different methods with each other.

KEYWORDS

Unbound mixtures, frost lift, the level of frost susceptibility, the influence of frost, ice lens, the Schleible criterion, a direct test of the frost susceptibility, frost index, the Proctor test, frost resistance, fine-grained particles

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Kateřina Surá *Namrzavost nestmelených směsí vozovek pozemních komunikací*. Brno, 2016. 69 s., 48 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 14.1.2016

.....
podpis autora
Bc. Kateřina Surá

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu práce Ing. Dušanu Stehlíkovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a odborné vedení při zpracování méj diplomové práce.

Dále panu Pavlu Strakovi z laboratoře ústavu pozemních komunikací za asistenci a cenné rady v průběhu provádění zkoušek.

V neposlední řadě bych ráda poděkovala svojí rodině za podporu v průběhu studia a při psaní této práce.

OBSAH

ÚVOD	10
CÍL PRÁCE.....	11
TEORETICKÁ ČÁST.....	11
1. NESTMELENÉ SMĚSI VOZOVEK.....	11
1.1. DRUHY NESTMELNÝCH SMĚSÍ.....	11
1.1.1 MECHANICKY ZPEVNĚNÉ KAMENIVO.....	11
1.1.2 ŠTERKODRŤ.....	13
1.1.3 ŠTĚRKOPÍSEK.....	13
1.1.4 MECHANICKY ZPEVNĚNÁ ZEMINA.....	14
1.1.5 VIBROVANÝ ŠTĚRK.....	14
1.2. UŽITÍ NESTMELNÝCH SMĚSÍ	114
1.3. PROVÁDĚNÍ NESTMELNÝCH SMĚSÍ.....	11
1.4. KONTROLA SHODY NESTMELNÝCH SMĚSÍ	11
2. NAMRZAVOST NESTMELENÝCH SMĚSÍ	19
2.1. URČENÍ MÍRY NAMRZAVOSTI NESTMELENÝCH SMĚSÍ V ČR.....	19
2.1.1 PŘÍPRAVA VZORKŮ.....	19
2.1.2 ZJIŠTĚNÍ OPTIMÁLNÍ VLNKOSTI A MAXIMÁLNÍ SUCHÉ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI.....	21
2.1.3 URČENÍ MÍRY NAMRZAVOSTI DLE SCHLEIBLEHO.....	27
2.1.4 URČENÍ MÍRY NAMRZAVOSTI PŘÍMÝM MĚŘENÍM.....	28
2.2. KONTROLA NAMRZAVOSTI V ZEMÍCH EU	32
2.2.1 ŠVÉDSKO.....	32
2.2.2 NORSKO.....	34
2.2.3 FINSKO.....	35
2.2.4 DÁNSKO.....	36
2.2.5 NĚMECKO.....	37
2.2.6 RAKOUSKO.....	39
2.2.7 BELGIE.....	41
2.2.8 FRANCIE.....	41
2.2.9 VELKÁ BRITÁNIE.....	43
PRAKTICKÁ ČÁST	44
3. PŘÍPRAVA VZORKŮ	44
3.1. VZOREK A	44
3.2. VZOREK B.....	45
3.3. VZOREK C.....	46
3.4. VZOREK D	47
3.5. VZOREK E.....	48

3.6. SOUHRN VZORKŮ	49
4. LABORATORNÍ ZKOUŠKY	50
4.1. ZKUŠEBNÍ VZORKY	50
4.2. PROCTOROVA ZKOUŠKA	50
4.3. STANOVENÍ NAMRZAVOSTI DLE SCHLEIBLEHO KRITÉRIA.....	52
4.4. STANOVENÍ MÍRY NAMRZAVOSTI PŘÍMÝM MĚŘENÍM.....	54
4.5. SROVNÁNÍ PŘÍMÉ A NEPŘÍMÉ METODY.....	59
4.6. CELKOVÉ ZHODNOCENÍ VZORKŮ	61
ZÁVĚR.....	62
SEZNAM OBRÁZKŮ	64
SEZNAM GRAFŮ	65
SEZNAM VZORCŮ	65
SEZNAM TABULEK.....	66
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	67
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	68
SEZNAM PŘÍLOH	69

ÚVOD

Nenamrzavost konstrukčních vrstev vozovek a jejího podloží je jedním ze základních požadavků pro vybudování dostatečně únosné a trvanlivé vozovky.

V případě, že bude do konstrukce zabudována byť jen jedna namrzavá konstrukční vrstva, je velká pravděpodobnost, že může dojít k poruše vozovky v celé její tloušťce.

Nejvíce rizikové se z hlediska promrzání jeví nestmelené směsi používané jako podkladní vrstvy, jež jsou uloženy na styku podloží, a tudíž k nim může voda ze zeminy vzlínat, ale současně do nich může zatékat z horních propustných vrstev vozovek.

Dále je třeba počítat s větší hrozbou promrzání u vrstev nestmelených používaných jako kryty opatřené nátěrem či jako vrstvy ložní s jednou asfaltovou vrstvou pro komunikace s nízkým dopravním zatížením jako např. účelové komunikace.

V případě že nestmelená vrstva bude namrzavá, dojde k vytváření ledových čoček, a tím ke zvětšení hmoty vrstvy s následnou tvorbou trvalých deformací celé vozovky.

Současná norma nevyžaduje přímé zkoušení míry namrzavosti nestmelených směsí vozovek, ale jako dostačující považuje posouzení podle Schleibleho kritéria.

Jelikož však tato skutečnost nebyla v praxi zatím prokázána přímým měřením, byl mi podán námět na vypracování tohoto téma diplomové práce tak, aby došlo ke srovnání přímé metody měření míry namrzavosti a posouzení dle Schleibleho kritéria na namrzavosti nestmelených směsí vozovek pozemních komunikací.

CÍL PRÁCE

Cílem teoretické části práce je vypracování rešerše zaměřené na vybrané zkoušky a posouzení namrzavosti nestmelených směsí vrstev vozovek v České Republice a v dalších zemích EU.

Cílem praktické části práce je na základě poznatků v části teoretické, provést zkoušky namrzavosti na připravených vzorcích v kvalitě MZK a ŠD_A při sledování jejich vlastností s ohledem na zvyšující se obsah jemných částic, tj. částic $< 0,063\text{mm}$ a provést jejich porovnání mezi sebou s ohledem na měnící se míru namrzavosti v závislosti na obsahu jemných částic a dále provést porovnání naměřené míry namrzavosti a míry namrzavosti určené nepřímou metodou pomocí Schleibleho kritéria.

Závěrem s ohledem na zjištěné parametry laboratorních zkoušek vyhodnotit porovnání jednotlivých zkoušených vzorků mezi sebou a dále se zamyslet, zda by bylo potřebné zavést přímé zkoušení míry namrzavosti nestmelených směsí.

TEORETICKÁ ČÁST

1. NESTMELENÉ SMĚSI VOZOVEK

Jsou směsi vybudované z přírodního, recyklovaného či umělého kameniva, které neobsahují žádné pojivo a drží jen díky úhlu vnitřního tření mezi jednotlivými zrny kameniva. Vzhledem k tomu, že nemají příliš velkou odolnost povrchu vůči mechanickému namáhání, najdou svoje uplatnění spíše jen v podkladních vrstvách vozovek.

V minulosti byly pokládány nestmelené směsi za méně hodnotné oproti směsím stmeleným, avšak praxí bylo prokázáno, že pokud jsou provedeny v dobré kvalitě a za použití kvalitních materiálů, dokážou přenášet i velká zatížení.

Jejich výhodami je v našich podmínkách snadná dostupnost materiálu, jednoduchost provádění a relativně nízká cena oproti vrstvám stmeleným. [1]

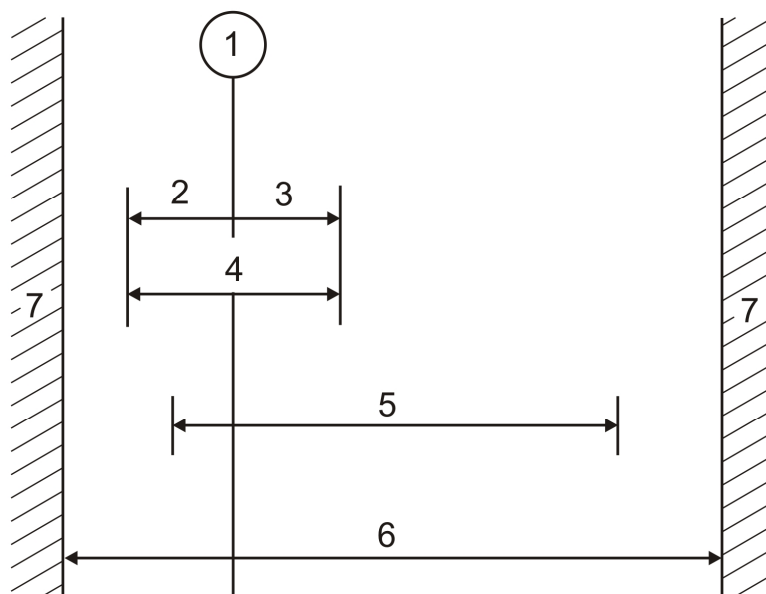
1.1. DRUHY NESTMELNÝCH SMĚSÍ

1.1.1 Mechanicky zpevněné kamenivo (MZK)

Mechanicky zpevněné kamenivo je nejkvalitnější nestmelená vrstva, což je umožněno přísnými požadavky na zrnitost a vlhkost této směsi. Tyto požadavky nesplňují běžně dodávaná kameniva, a proto se směs MZK vyrábí mícháním z několika frakcí v míchacích

centrech, kde se upravuje vlhkost přidáním vody pro dosažení maximální míry zhutnění. MZK se vyrábí jako směs kameniva 0/32 a 0/45.

Je zřejmé, že výroba takovéto směsi musí být předem připravena podle vypracovaného výrobního předpisu, na základě laboratorního zkoušení. Výrobní předpis udává požadavky na maximální objemovou hmotnost, optimální vlhkost a hodnotu CBR, která je pro směs MZK požadována. ČSN EN 13 285 definuje několik důležitých pojmů pro návrh a kontrolu výroby směsi MZK patrných z obrázku 1-1.



Legenda

Obr. 1-1 Použití dodavatelem deklarované hodnoty [4]

- 1 Dodavatelem deklarovaná hodnota
- 2 Záporná tolerance
- 3 Kladná tolerance
- 4 Závazný interval zrnitosti pro výrobu
- 5 Interval zrnitosti pro stanovení dodavatelem deklarované hodnoty
- 6 Všeobecný interval zrnitosti
- 7 Zakázaná oblast

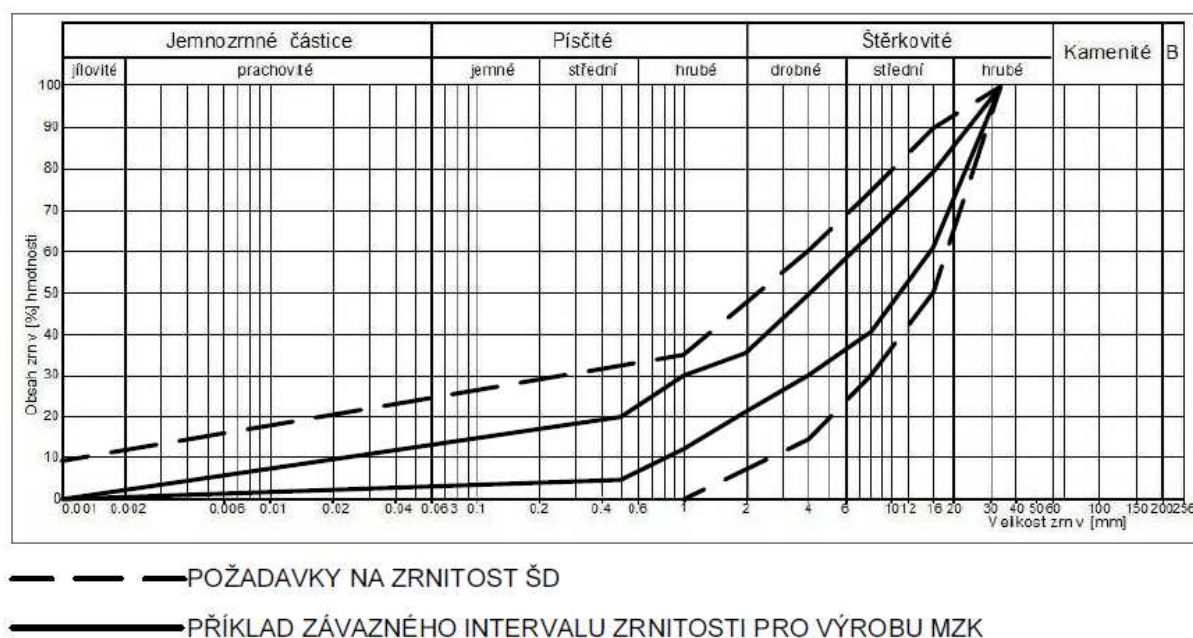
Všeobecný interval zrnitosti (6), který je vymezen horní a dolní čarou zrnitosti, a výsledky všech zkoušek musí být uvnitř tohoto intervalu. Toto je však dostačující pro směsi ŠD, ale pro MZK jsou kladeny další požadavky. Recepturní čára zrnitosti musí být navržena v tzv. intervalu zrnitosti pro dodavatelem deklarované hodnoty (5), aby byla plynulá a probíhala co nejvíce středem všeobecného intervalu. Hodnoty propadů na jednotlivých sítích recepturní čáry zrnitosti se pak nazývají dodavatelem deklarované hodnoty (1) se závaznými intervaly zrnitosti pro výrobu (4) s povolenými tolerancemi (2,3). [1]

1.1.2 Štěrkodrt' (ŠD)

Jedná se o nestmelenou směs, jejíž požadavky na zrnitost nejsou tak přísné jako u MZK a tudíž je možné jejich užití z přímo dodávaných směsí kameniva 0/32, 0/45, 0/63 a 0/125.

Rozdíl v požadavcích na zrnitost ukazuje obr. 1-2, kde je jasné patrné, že směs ŠD má širší obor hodnot zrnitosti. Oproti tomu interval zrnitosti pro směs MZK je zárukou plynulého průběhu, blízkého Fullerově čáře zrnitosti.

Z důvodů maximálního využití vyráběného kameniva se štěrkodrt' rozlišuje na ŠD_A s předepsanou zrnitostí a ŠD_B, která je určena pro komunikace s nízkým dopravním zatížením a je zde pouze požadavek na maximální obsah jemných částic a procento nadsítného. [1]



Obr. 1-2 Příklad rozdílu v požadavcích na zrnitost směsi ŠD a MZK [1]

1.1.3 Štěrkopísek (ŠP)

Je nestmelená vrstva ze směsi těžného kameniva o stejné zrnitosti a velikosti maximálního zrna jako ŠD.

Z důvodu hladkých a zaoblených zrn, která se do sebe nejsou schopna zaklínit a tudíž jsou prakticky nezhutnitelné, je vhodný spíše jen pro použití do ochranných vrstev vozovek. [1]

1.1.4 Mechanicky zpevněná zemina (MZ)

Je vrstva vozovky z nestmelené zeminy nebo jiných zrnitých materiálů o zrnitosti šterkodrtě. Tato technologie umožňuje výrobu levné podkladní vrstvy z místních materiálů určenou pro komunikace s nízkým dopravním zatížením. [1]

1.1.5 Vibrovaný štěr (VŠ)

Základ této technologie tvoří kamenná kostra z hrubého drceného kameniva 32/63, do které se následně zavibruje jemnější výplňové kamenivo. Tato technologie je poměrně náročná na provádění, a proto není příliš rozšířena. [1]

1.2. UŽITÍ NESTMELENÝCH SMĚSÍ

Užití jednotlivých nestmelených směsí v konstrukci vozovky je uvedeno v tabulce 1-1.

Vrstva		Doporučená třída dopravního zatížení ¹⁾	
		Podkladní vrstva	Ochranná vrstva
Mechanicky zpevněné kamenivo (MZK) ²⁾		bez omezení	–
Mechanicky zpevněné kamenivo otevřené (MZKO)		bez omezení	–
Vrstva ze šterkodrti (ŠD)	ŠD _A	III, IV, V a VI	bez omezení
	ŠD _B	V, VI	V, VI
Vrstva ze šterkopísku (ŠP)	ŠP _A	–	IV, V a VI
	ŠP _B		VI
Mechanicky zpevněná zemina (MZ)		V, VI	bez omezení
¹⁾ Třídy dopravního zatížení podle ČSN 73 6114. ²⁾ Pro místní a účelové komunikace, parkovací a odstavné plochy třídy dopravního zatížení VI je možno MZK použít i jako kryt vozovky.			

Tab. 1-1 Užití nestmelených směsí v konstrukci vozovky [2]

Tloušťka konstrukční vrstvy z nestmelené směsi je určena návrhem vozovky. Vrstva může být pokládána po částech, přičemž minimální tloušťka pokládané vrstvy musí být alespoň 2,5 násobkem velikosti horního síta směsi (D). Maximální tloušťka pokládané vrstvy je 300 mm. [2]

1.3. PROVÁDĚNÍ NESTMELENÝCH SMĚSÍ

Vzhledem k tomu, že nestmelené směsi se nejčastěji provádí jako ochranné či podkladní vrstvy, musí být před jejich návrhem provedena kontrola podloží vozovky.

To musí splňovat především dostatečnou míru zhutnění, únosnost, rovnost, musí být provedeno v předepsaném příčném sklonu.

Dále musí být zajištěny požadavky pro zamezení vzájemné infiltrace podloží a nestmelené vrstvy, z tohoto důvodu musí nestmelená vrstva a podloží splňovat kritéria:

$$\frac{d_{15, \text{vrstvy}}}{d_{85, \text{podloží}}} \leq 5 \quad (1-1)$$

$$\frac{d_{50, \text{vrstvy}}}{d_{50, \text{podloží}}} \leq 25 \quad (1-2)$$

kde d_{15} , d_{50} a d_{85} je průměr zrna (mm) odpovídající na čáře zrnitosti 15%, 50% a 85% celkové hmotnosti.

Kritérium infiltrace není závazné pro jemnozrné zhutněné zeminy zlepšené pojivem v aktivní zóně podloží s $\text{CBR} \geq 30 \%$.

V případě, že materiál nevyhoví výše uvedenému kritériu, je nezbytné položit na styku dvou materiálů vhodnou separační geotextilii podle ČSN EN 13 249.

Po provedení případných opatření, jež jsou žádoucí, je možné přistoupit k samotné pokládce nestmelené vrstvy. Ta se provádí při teplotách větších než 0°C a nesmí se provádět při silném, nebo dlouhotrvajícím dešti. Při dopravě a manipulaci nesmí dojít ke znečištění, segregaci a takové změně vlhkosti (zejména u směsí MZK a MZKO), která by mohla způsobit nedostatečné zhutnění směsi. Při samotném rozprostírání směsi jsou obvykle používány finišery či grejdry, v případě prací malého rozsahu, nebo ve stísněných poměrech je možné využít jiné malé mechanizace, nebo ručního rozprostírání.

Při pokládce je třeba počítat s nadvýšením vrstvy, která vlivem hutnění zmenší svoji tloušťku. Samotné hutnění je pak prováděno nejčastěji válci s vibrací, kdy zapnutá vibrace sníží vnitřní tření kameniva, a tak vytvoří podmínky pro účinnější hutnění vrstvy. Dále se využívají válce pneumatické, které jsou vhodné na dokončovací práce, pro tzv. vyhlazení a uzavření povrchu vrstvy. Hutnění se provádí až do dosažení požadované míry zhutnění podle pravidel uvedených v ČSN 73 6126-1. K tomu, aby byla vrstva co nejvíce odolná proti

klimatickým vlivům do doby jejího překrytí další vrstvou, je vhodné její ošetření postřikem z kationaktivní emulze. [2]

1.4. KONTROLA SHODY NESTMELENÝCH SMĚSÍ

Průkazní zkoušky kameniva pro směsi jsou stanoveny v ČSN EN 13 242. Z tabulky 1-2 je patrná minimální četnost zkoušek pro určité vlastnosti kameniva s odkazem na příslušné normy dle zkušební metody.

Vlastnost		Článek	Poznámky/odkazy	Zkušební metoda	Minimální četnost zkoušek
1	Zrnitost	4.3		EN 933-1	Jednou týdně
2	Tvar zrn hrubého kameniva	4.4	Četnost zkoušek se týká drceného kameniva. Četnost zkoušek těženého kameniva závisí na zdroji a může být zmenšena	EN 933-3 EN 933-4	Jednou měsíčně
3	Procentní podíl ostrohranných zrn	4.5	Jen u těženého hrubého kameniva	EN 933-5	Jednou měsíčně
4	Obsah jemných částic	4.6		EN 933-1	Jednou týdně
5	Jakost jemných částic	4.7		EN 933-8 EN 933-9	Jednou týdně
6	Odolnost proti drcení	5.2		EN 1097-2	Dvakrát ročně
7	Odolnost proti otěru	5.3		EN 1097-1	Dvakrát ročně
8	Objemová hmotnost zrn	5.4	Zkušební metoda závisí na velikosti zrn kameniva	kapitola 7, 8 nebo 9 EN 1097-6:2000	Jednou ročně
9	Nasákavost	5.5	Zkušební metoda závisí na velikosti zrn kameniva	kapitola 7, 8 nebo 9 EN 1097-6:2000	Jednou ročně
10	Složky, které ovlivňují průběh tuhnutí a tvrdnutí směsi hydraulickými pojivy: – hydroxid sodný – fulvo kyseliny (když nevyhoví hydroxid sodný) Zkouška porovnáním – pevnosti – doby tuhnutí	6.4.1		15.1 EN 1744-1:1998 15.2 EN 1744-1:1998 15.3 EN 1744-1:1998	Jednou ročně Jednou ročně Jednou ročně
11	Odolnost proti zmrazování a rozmrazování	7.3		EN 1097-6 EN 1367-1, EN 1367-2	Jednou za 2 roky
12	Nebezpečné látky, zvláště: uvolňování těžkých kovů	C.3.3 C.4	^a	^a	Pokud je požadována a v případě pochybnosti

^a Pokud není jinak specifikováno, jen když je to nutné pro účely označování CE (viz příloha ZA).

Tab. 1-2 Minimální četnost zkoušek pro všeobecné vlastnosti kameniva [3]

Průkazní zkoušky směsí jsou stanoveny v ČSN EN 13 285, kde je z tabulky 1-3 patná četnost provádění jednotlivých zkoušek s odkazem na příslušné normy, podle kterých je zkoušení prováděno.

Kontrolní zkoušky ověřují shodu vlastností s požadavky průkazních zkoušek, se specifikacemi stavebních materiálů, směsí a pro hotovou vrstvu s požadavkem dokumentace stavby. [2]

Vlastnost	Článek	Poznámka	Zkouška	Minimální četnost zkoušek
Kamenivo	4.2	podle EN 13242	–	–
Jemné částice	4.3		EN 933-1	1 × za týden
Zrnitost	4.4	Je stanoven požadavek podle různých kritérií, aby se vyhovělo kategoriím, které požaduje odběratel	EN 933-1	1 × za týden nebo 1 × za 5000 t (co je častější)
Laboratorní suchá objemová hmotnost, optimální vlhkost	5.3			1 × za rok
Obsah vodou rozpustných síranů	5.4		EN 1744-1	1 × za rok
Namrzavost	4.5		–	–
Propustnost			–	–
Vyluhovatelnost			–	–

Tab. 1-3 Minimální četnost zkoušek pro nestmelené směsi [4]

Z tabulky 1-4 je patrná četnost kontrolních zkoušek stavebních materiálů a směsí s ohledem na zkoušenou vlastnost a s odkazem na příslušnou normu, dle které je zkoušení prováděno.

Zkratka vrstvy	Vlastnost	Požadavek	Zkouška	Četnost
MZK, MZKO	zrnitost	G_A, G_C, G_O podle tabulky NA.2 ČSN EN 13285:2006	ČSN EN 933-1	1 000 m ³
	obsah jemných částic			
	vlhkost	- 2 % až + 1 % w_{opt}	ČSN EN 1097-5	minimálně 2 × denně
ŠD, ŠP	zrnitost	G_E podle tabulky NA.2 ČSN EN 13285:2006	ČSN EN 933-1	1 000 m ³
MZ	obsah jemných částic			
	zrnitost	G_E podle tabulky NA.2 ČSN EN 13285:2006	ČSN EN 933-1	1 000 m ³
	ekvivalent písku	$SE \geq 25$	ČSN EN 933-8	1 000 m ³

Tab. 1-4 Kontrolní zkoušky stavebních materiálů a směsí [2]

Z tabulky 1-5 jsou dále patrné kontrolní zkoušky hotové vrstvy, kde jsou mimo jiné uvedeny jednotlivé maximální povolené odchylky od uvedených vlastností.

Dodržení výšek stanovených v dokumentaci, odchylky od příčného sklonu a tloušťky vrstvy se zkouší nivelací v profilech podle projektové dokumentace. Tloušťka vrstvy se též může kontrolovat přímým měřením (sondami). Nerovnost povrchu se kontroluje dle ČSN 73 6175 v podélném i příčném směru. V podélném směru se měří zpravidla 4metrovou latí nebo jiným odpovídajícím zařízením, nejčastěji v ose každého jízdního pruhu. V příčném směru jsou pak nerovnosti měřeny 2metrovou latí. [2]

Vlastnost		Požadavek		Zkouška	Min. četnost
		MZK (MZKO)	ŠD, ŠP, MZ		
Odchylky výšek podle dokumentace max.	maximálně	± 20 mm		nivelací	po 40 m
	průměrně	± 5 mm			
Odchylka od příčného sklonu max.		± 0,5 %	± 1,0 %	nivelací	po 100 m
Nerovnost povrchu max.	podélná	20 mm	30 mm	ČSN 73 6175	průběžně
	příčná	20 mm			po 100 m
Tloušťka vrstvy h min.	minimální	0,8 h		nivelací, sondou	po 100 m
	průměrná	0,9 h			
Míra zhutnění minimální		98 %	–	ČSN 72 1006	viz 9.4.5
Modul přetvárnosti E_{def2} min.		viz tabulka 4		ČSN 72 1006	viz 9.4.6
Poměr E_{def2} / E_{def1} max.		2,5 ¹⁾			
¹⁾ Pokud E_{def1} dosahuje 60 % E_{def2} podle tabulky 4, připouští se i vyšší hodnoty poměru E_{def2} / E_{def1} .					

Tab. 1-5 Kontrolní zkoušky hotové vrstvy [2]

V tabulce 1-6 jsou uvedeny minimální moduly přetvárnosti podloží a nestmelené vrstvy v závislosti na její tloušťce a modulu přetvárnosti pod ní ležící vrstvy.

a) Ochranná vrstva

Podloží	Požadované moduly přetvárnosti E_{def2} stanovené na povrchu ochranné vrstvy, MPa					
	ŠP, MZ o tloušťce vrstvy, mm			ŠD o tloušťce vrstvy, mm		
	150	200	250	150	200	250
30 ¹⁾	45	50	60	50	60	70
45	60	60	60	70	80	90
60	60			90	100	110
90				120		
¹⁾ Platí pro vozovky a konstrukce v návrhové úrovni porušení D2 a D1 ve třídě dopravního zatížení VI.						

b) podkladní vrstva

Ochranná vrstva	Požadované moduly přetvárnosti E_{def2} stanovené na povrchu podkladní vrstvy, MPa					
	ŠD o tloušťce vrstvy, mm			MZK, MZKO o tloušťce vrstvy, mm		
	150	200	250	150	200	250
45 ¹⁾	70	80	90			
50 ¹⁾	80	90	100	100	110	120
60	90	100	110	110	120	130
70	100	110	120	120	130	140
80	110	120	120	130	140	150
90	120	120		140	150	150
100	120			150	150	
120				150		
¹⁾ Platí pro vozovky a konstrukce v návrhové úrovni porušení D2 a D1 ve třídě dopravního zatížení VI.						

Tab. 1-6 Minimální moduly přetvárnosti podloží a nestmelené vrstvy [2]

2. NAMRZAVOST NESTMELENÝCH SMĚSÍ

2.1. URČENÍ MÍRY NAMRZAVOSTI NESTMELENÝCH SMĚSÍ V ČR

Současná norma nevyžaduje přímé zkoušení míry namrzavosti pro nestmelené směsi vozovek pozemních komunikací, ale za předpokladu, že dojde ke splnění požadavku z hlediska obsahu jemných částic dle ČSN EN 13 285, tabulka NA.2 pro jednotlivé nestmelené vrstvy, tak je směs podle Schleibleho kritéria nenamrzavá, viz. ČSN 73 6133, obrázek A.2.

Vzhledem k zadání této diplomové práce, jejíž námět mi byl podán právě z důvodu srovnání přímého měření míry namrzavosti dle ČSN 72 1191 a porovnání s nepřímou metodou pro určení namrzavosti dle Schleibleho kritéria, bylo provedeno na souboru vzorků složených ze směsí šterkodrtě a mechanicky zpevněného kameniva přímé měření míry namrzavosti určené pro zeminy, upravené zeminy, recyklované materiály a vedlejší produkty, které se používají pro stavbu zemního tělesa dopravních staveb.

2.1.1 Příprava vzorků

Dle předem jasných zrnitostních kritérií vycházejících z ČSN EN 13 285 dle tabulky 2-1, bylo namícháno 5 vzorků směsi kameniva ve kvalitě MZK a ŠD_A.

Interval zrnitosti	Propad v procentech hmotnosti						Kategorie
	Síto A	Síto B	Síto C	Síto E	Síto F	Síto G	
Normálně zrněné směsi							
Všeobecný	55 – 85	35 – 65	22 – 50	15 – 40	10 – 35	0 – 20	G _A
Dodavatelem deklar. hodnota (S)	53 – 77	43 – 57	30 – 42	22 – 33	15 – 30	5 – 15	
Všeobecný	55 – 85	35 – 65	22 – 60	15 – 47	9 – 40	5 – 35	G _B
Dodavatelem deklar. hodnota (S)	53 – 77	43 – 60	30 – 52	23 – 40	14 – 35	10 – 30	
Všeobecný	50 – 90	30 – 75	20 – 60	13 – 45	8 – 35	5 – 25	G _C
Dodavatelem deklar. hodnota (S)	61 – 79	41 – 64	31 – 49	22 – 36	13 – 30	10 – 20	
Oleřené směsi							
Všeobecný	50 – 75	31 – 60	18 – 45	10 – 35	5 – 25	0 – 20	G _D
Dodavatelem deklar. hodnota (S)	58 – 70	39 – 51	26 – 38	17 – 25	11 – 21	5 – 15	
Všeobecný	43 – 81	23 – 66	12 – 53	6 – 42	3 – 32	Bez pož.	G _E
Dodavatelem deklar. hodnota(S)	54 – 72	33 – 52	21 – 38	14 – 27	9 – 20		
Ostatní směsi							
Všeobecný	50 – 90	30 – 75	15 – 60	Bez pož.	0 – 35	Bez pož.	G _F
Dodavatelem deklar. hodnota (S)	Bez požadavků						
Všeobecný	50 – 90	30 – 75	15 – 60	Bez požadavků			G _G
Dodavatelem deklar. hodnota (S)	Bez požadavků						
Všeobecný	47 – 87	Bez požadavků		15 – 75	Bez požadavků		G _H
Dodavatelem deklar. hodnota (S)	Bez požadavků						
Všeobecný	Bez požadavků						G _I
Dodavatelem deklar. hodnota (S)							

Tab. 2-1 Všeobecné požadavky na zrnitost [4]

Tyto vzorky se od sebe odlišovaly jednak průběhem čáry zrnitosti, byly namíchány z různých hornin, ale co je důležité, byl u nich zvyšován obsah jemných částic, tj. částic $\leq 0,063\text{mm}$ a to dle tabulky 2-2 podle ČSN EN 13 285.

Propad v procentech hmotnosti na síť 0,063mm	Kategorie
≤ 3	UF ₃
≤ 5	UF ₅
≤ 7	UF ₇
≤ 9	UF ₉
≤ 12	UF ₁₂
≤ 15	UF ₁₅
Bez požadavků	UF _N

Tab. 2-2 Maximální obsah jemných částic [4]

Frakce těchto směsí 0/31,5 byla zvolena s ohledem na maximální zrno pro přímé určení míry namrzavosti dle ČSN EN 72 1191 a také dle nejčastěji dodávané frakce pro konstrukce pozemních komunikací. Sada sít byla sestavena pro tuto frakci dle ČSN EN 13 285 a je patrná z tabulky 2-3.

Označení směsí	Síto A	Síto B	Síto C	Síto E	Síto F	Síto G
0/8	4	2	–	1	0,5	–
0/10	4	2	–	1	0,5	–
0/11,2	5,6	4	2	1	0,5	–
0/12,5	6,3	4	2	1	0,5	–
0/14	8	4	2	1	0,5	–
0/16	8	4	2	1	0,5	–
0/20	10	4	2	1	0,5	–
0/22,4	11,2	5,6	2	1	0,5	–
0/31,5	16	8	4	2	1	0,5
0/40	20	10	4	2	1	0,5
0/45	22,4	11,2	5,6	2	1	0,5
0/56	31,5	16	8	4	2	1
0/63	31,5	16	8	4	2	1
0/80	40	20	10	4	2	1
POZNÁMKA Tabulka 5 nedefinuje síto C a síto G pro všechny směsi.						

Tab. 2-3 Síta pro určení zrnitosti [4]

V praxi je frakce směsí 0/31,5 pro zjednodušení označována jako 0/32 a pro lepší porozumění budu i já tuto směs takto označovat. Požadavky pro příslušné typy směsí jsou

zřejmé z tabulky 2-4 dle ČSN EN 13 285, kde je též patrné použití směsí MZK, ŠD_A, ŠP_A a MZ s nejvyšším obsahem jemných částic ≤ 9% kategorie UF₉, a pro směsi ŠD_B a ŠP_B s nejvyšším povoleným obsahem jemných částic ≤ 12% kategorie UF₁₂.

čl. normy, tabulka	VLASTNOST	Požadavek, kategorie						
		směs MZK (G _A ,G _C)	směs MZKO (G _O)	ŠD _A	ŠP _A	ŠD _B	ŠP _B	MZ ¹⁾
4.3.1 tabulka 1	Směsi, doporučené pro použití	0/32; 0/45		0/32; 0/45; 0/63		0/32; 0/45; 0/63; 0/125		0/32; 0/45;
4.3.2 tabulka 2	Maximální obsah jemných částic	UF ₉				UF ₁₂		UF ₉
4.3.2 tabulka 3	Minimální obsah jemných částic	LF ₂				LF _N		LF ₂
4.3.3 tabulka 4	Nadsítné	OC ₉₀		OC ₈₅		OC ₈₀		OC ₈₅
4.4.1 tabulka 6	Požadavky na zrnitost	G _A nebo G _C ²⁾	G _O	G _E		G _N		G _E
4.4.2 tab. 7 a 8	Zrnitost jednotlivých dávek	Požaduje se splnění požadavků tabulky 7 a 8		Bez požadavků				
4.5	Ostatní požadavky : – namrzavost – propustnost – vyluhovatelnost	Bez požadavků						
NA.4.5	CBR po sycení ve vodě po dobu 96 hodin	Min. 100 %		Bez požadavků				Min. 20 %
5.3	Laboratorní srovnávací objemová hmotnost optimální vlhkost	Deklarovaná hodnota Deklarovaná hodnota						
ČSN 73 6126-1	Vlhkost	Povolené odchylky vlhkosti směsi od deklarované hodnoty: – 2 % až + 1 %		Bez požadavků				
5.4	Deklarace vodou rozpustného obsahu síranů	Bez požadavků						

¹⁾ Pro mechanicky zpevněnou zeminu je možno použít materiál z místních zdrojů (např. trasa komunikace, nestandardní materiál z výroby kameniva, betonový nebo cihelný recyklát). Směs MZ musí dále splňovat tyto parametry: ekvivalent písku podle ČSN EN 933-8 SE min. 25, vlhkost na mezi tekutosti a index plasticity podle ČSN CEN ISO/TS 17892-12, w_L max. 25 % a $I_p \leq 6$.

²⁾ Kategorie G_A a G_C jsou kvalitativně rovnocenné.

Tab. 2-4 Požadavky pro příslušné typy směsí [4]

2.1.2 Zjištění optimální vlhkosti a maximální objemové hmotnosti

Podstata zkoušky

Jak již bylo uvedeno v kapitole 1.1.1, směsi MZK vyžadují ve výrobním předpise zjištění maximální objemové hmotnosti a optimální vlhkosti pro dosažení co nejlepšího

zhutnění a zajištění maximální únosnosti vrstvy. Směsi ŠD toto nevyžadují a optimální vlhkost se posuzuje pouze vizuálně, avšak pro potřeby této práce bylo provedeno zjištění optimální vlhkosti a maximální objemové hmotnosti na všech vzorcích a to dle ČSN EN 13286 - 2 Zkušební metody pro stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti - Proctorova zkouška.

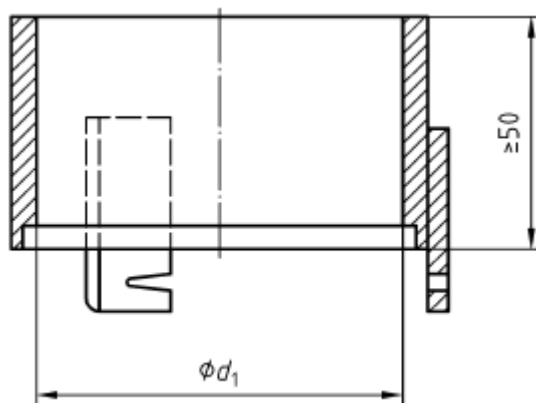
Vzhledem k charakteru zkoušené směsi byla zvolena modifikovaná Proctorova zkouška při níž byl použit Proctorův moždíř A dle tabulky 2-5.

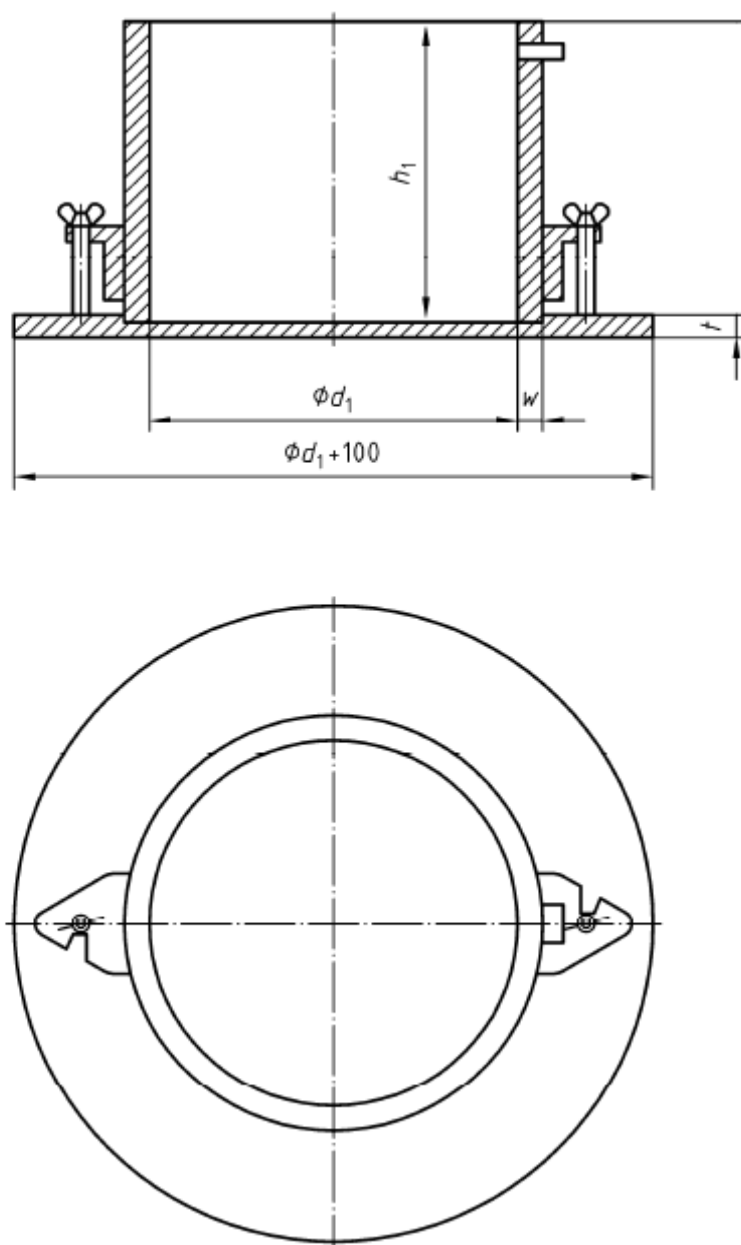
Druh zkoušky	Charakteristiky zkoušky	Symbol	Rozměry	Proctorův moždíř		
				A	B	C
Standardní Proctorova zkouška	Hmotnost pěchu	m_R	kg	2,5	2,5	15,0
	Průměr pěchu	d_2	mm	50	50	125,0
	Výška dopadu	h_2	mm	305	305	600
	Počet vrstev	–	–	3	3	3
	Počet úderů na vrstvu	–	–	25	56	22
Modifikovaná Proctorova zkouška	Hmotnost pěchu	m_R	kg	4,5	4,5	15,0
	Průměr pěchu	d_2	mm	50	50	125,0
	Výška dopadu	h_2	mm	457	457	600
	Počet vrstev	–	–	5	5	3
	Počet úderů na vrstvu	–	–	25	56	98
Při rutinní kontrole vrstev vozovky se může používat jednobodová Proctorova zkouška podle přílohy B.						
POZNÁMKA 1 V této tabulce jsou hodnoty rozměrů zaokrouhleny. Přesné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 2.						

Tab. 2-5 Přehled standardní Proctorovy zkoušky a modifikované Proctorovy zkoušky [5]

Zkušební zařízení a pomůcky

Dále je z obrázku 2-1 patrné zkušební zařízení, které se skládá z moždíře vybaveného snímatelným nástavcem o výšce nejméně 50 mm a snímatelnou základní ocelovou deskou.





Obr. 2-1 Princip Proctorova moždíře [5]

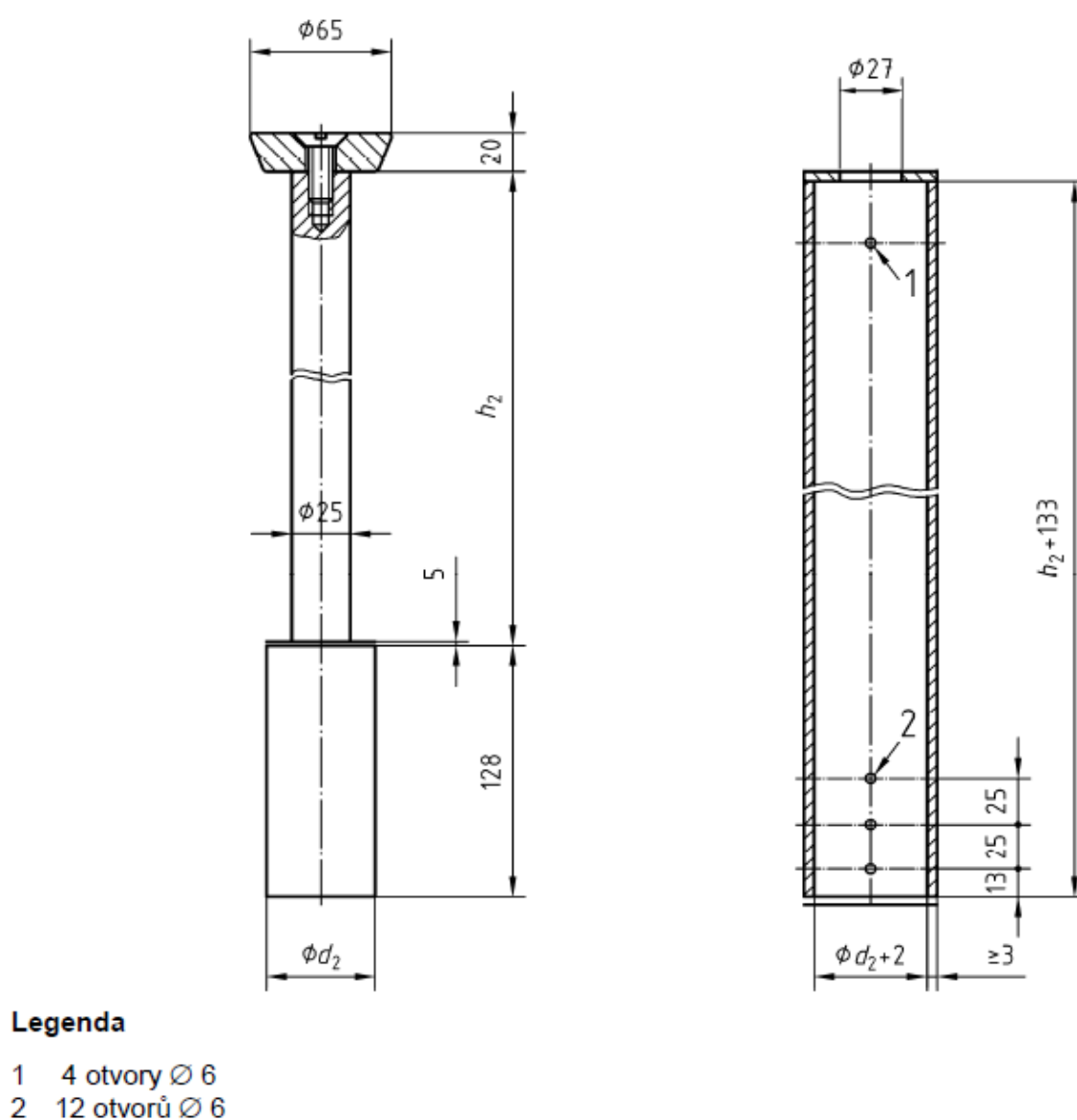
Zkušební zařízení je dále složeno z hutnicího zařízení, jehož součástí je hutnicí pěch, který volně dopadá na definovanou vrchní část směsi v moždíři a jeho hlavní požadavky jsou určeny v tabulce 2-6. Princip pěchu je pak patrný z obrázku 2-2.

Pěch musí být vybaven vhodným zařízením, které umožní nastavení předepsané výšky dopadu podle úrovně horního povrchu směsi v moždíři.

Pěch	Hlavní požadavky		
	Hmotnost pěchu m_R kg	Průměr základu d_2 mm	Výška dopadu h_2 mm
A	2,50 ±0,02	50,0 ±0,5	305 ±3
B	4,50 ±0,04	50,0 ±0,5	457 ±3
C	15,00 ±0,04	125,0 ±0,5	600 ±3

POZNÁMKA 1 V příloze A se uvádějí detaily dalších pěchů, které se běžně používají.

Tab. 2-6 Hlavní požadavky na nové pěchy [5]



Obr. 2-2 Princip pěchu a vodící tyče [5]

Další součástí zařízení je ocelová deska, jejíž parametry jsou uvedeny v tabulce 2-7 a je možno ji použít na konec hutnění pro stlačení poslední vrstvy.

Proctorův moždír	Průměr d_3 mm	Tloušťka S_2 mm
A	$d_1 - 0,5$	10,0 ± 0,1
B		
C		20,0 ± 0,1
POZNÁMKA Návrh ocelové desky je uveden na obrázku 3.		

Tab. 2-7 Rozměry ocelové desky [5]

Jako další pomůcky byly použity váhy s přesností vážení 0,1% hmotnosti zhutněného vzorku, nerezový plech, plastové mísící nádoby, špachtle, ocelové urovnávací pravítko a zařízení pro stanovení vlhkosti dle EN 1097-5. [5]

Příprava vzorků

Dále mohlo být přistoupeno k přípravě vzorků, kde byly z každého vzorku směsi vytvořeny 4 dílčí vzorky, u kterých byla postupně zvyšována vlhkost. Každý z těchto dílčích vzorků byl dále rozdělen na 5 částí, které byly postupně plněny do moždíře.

Zkušební postup

Poté se již mohlo přistoupit k samotnému provedení modifikované Proctorovy zkoušky. Při této zkoušce je zhutňovací síla zvýšena na 4,5 kg, výška dopadu na 457 mm a počet hutněných vrstev je pět. Používá se Proctorův moždír A.

Moždír s připevněnou základní deskou se zváží s přesností na 1 g a zaznamená se hmotnost m₁. Pokud nejsou známy vnitřní rozměry, změří se s přesností na 0,5 mm. Nástavec se připevní na moždír a sestava moždíře se umístí na pevný podklad, například na betonovou podlahu nebo sokl. Vnitřní stěny nástavce se namažou separačním prostředkem.

Z jednoho připraveného vzorku se do moždíře vloží takové množství vlhké směsi, aby po zhutnění vyplnilo více než jednu pětinu výšky tělesa moždíře. Hutní se 25 údery pěchu o hmotnosti 4,5 kg, který dopadá z výšky 457 mm nad povrchem směsi při řízení vodící tyčí. Údery se rozdělí rovnoměrně po obvodu a je nutné se přesvědčit, že pěch vždy dopadá volně a nepřekáží mu směs ve vodící tyči nebo na ní.

Postup se opakuje ještě čtyřikrát, aby množství směsi naplnilo těleso moždíře a povrch směsi nebyl více než 10 mm nad horním okrajem tělesa moždíře.

Nástavec se sejme, odstraní se přebytečná směs a povrch zhutněné směsi se pravítkem pečlivě zarovná s okrajem moždíře. Jakékoliv hrubé částice, které byly postupně odstraněny během procesu zarovnávaní, se nahradí jemnějšími částicemi ze vzorku, které se dobře vtlačí dovnitř.

Materiály a moždíř se základní deskou se zváží s přesností na 1 g a hmotnost m_2 . Zhutněná směs se vyjme z moždíře a umístí se do kovové nádoby, ke stanovení vlhkosti w podle EN 1097-5.

Zkouška zhutnitelnosti se provede s každým ze zbývajících připravených vzorků, a získá se tak celkem nejméně pět, anebo, u směsí známých vlastností, alespoň tři stanovené hodnoty. Vlhkosti musí být takové, aby optimální vlhkost, při které se dosáhne maximální objemové hmotnosti suché směsi, ležela blízko středu rozmezí. [5]

Stanovení vlhkosti podle ČSN EN 1097-5

Ke stanovení vlhkosti je zapotřebí odebrat vzorek směsi ze střední části válcového tělesa, kde nedochází vlivem hutnění k vytlačování vlhkosti ze směsi. Takto odebraný vzorek se zváží s přesností na 1 g a zapíše se jako hmotnost m_w . Po vysušení v sušárně se vzorek opět zváží s přesností na 1 g a tato hmotnost se zapíše jako m_d . [6]

Výsledná vlhkost se poté určí ze vztahu:

$$w = \frac{M_1 - M_3}{M_3} \times 100 \quad (2-1)$$

kde m_1 je hmotnost vlhké směsi (g)

m_3 hmotnost suché směsi (g)

Vyhodnocení vzorků

Vypočítá se vnitřní objem moždíře V v centimetrech krychlových.

Vypočítá se objemová hmotnost vlhké směsi ρ každého zhutněného zkušebního tělesa podle rovnice:

$$\rho = (m_2 - m_1) \times 1000 / V \quad (2-2)$$

kde ρ je objemová hmotnost zhutněné vlhké směsi (kg/m^3)

m_1 hmotnost moždíře a základní desky (g)

m_2 hmotnost moždíře, základní desky a zhutněné směsi (g)

V objem moždíře (cm^3)

Vypočítá se objemová hmotnost zhuštěné suché směsi ρ_d každého zkušebního tělesa podle rovnice:

$$\rho_d = (100 \times \rho) / (100 + w) \quad (2-3)$$

kde ρ_d je objemová hmotnost suché směsi (kg/m^3)
 ρ objemová hmotnost zhuštěné vlhké směsi (kg/m^3)
 w vlhkost směsi (%)

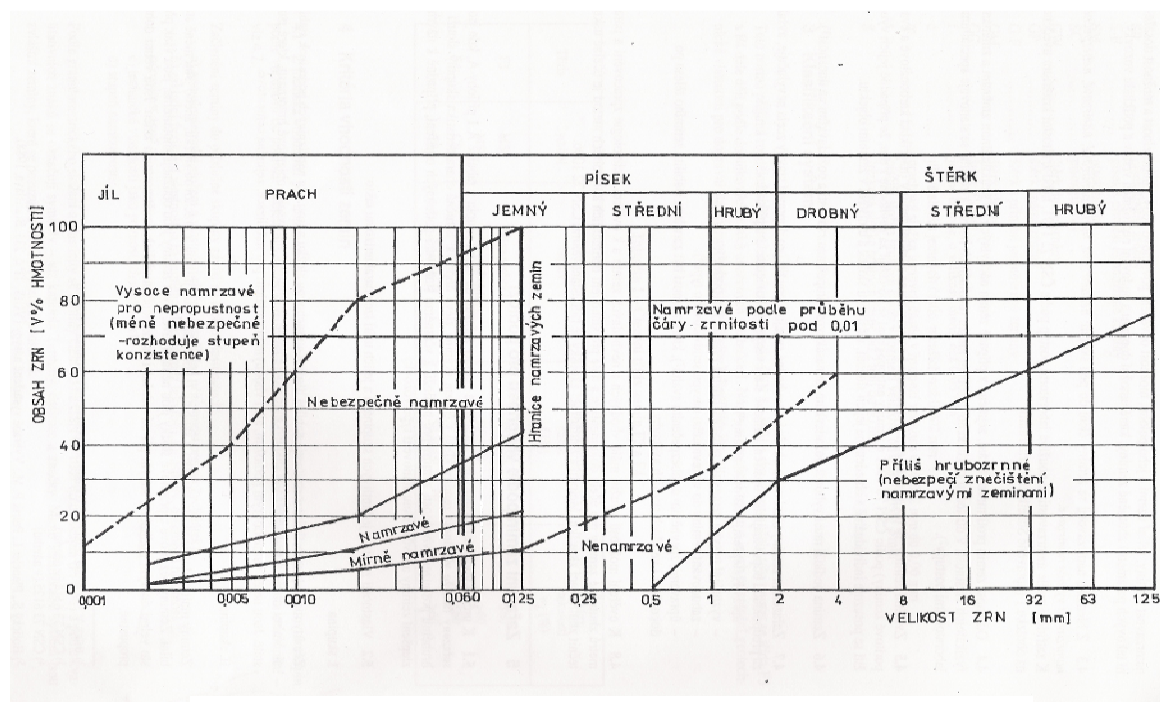
Grafické vyjádření

Hodnoty objemové hmotnosti suché směsi, získané sérií stanovení, se vynesou na osu y a odpovídající vlhkosti na osu x. Vyneseny body se proloží spojitá křivka a zjistí se poloha maxima na této křivce.

Odečtou se hodnoty maximální objemové hmotnosti suché směsi a vlhkosti odpovídající tomuto bodu. [5]

2.1.3 Určení míry namrzavosti dle Schleibleho kritéria

Namrzavost nestmelených směsí za předpokladu splnění požadavků na zrnitost podle 2.1.1, tabulka 2-4, lze považovat směs podle Schleibleho kritéria obr. 2-3 dle ČSN 73 6133 jako nenamrzavou.



Obr. 2-3 Kritérium namrzavosti podle zrnitosti zeminy [7]

2.1.4 Určení míry namrzavosti přímým měřením

Zkoušení míry namrzavosti zemin se provádí dle ČSN 72 1191. Tato norma platí pro zkoušení míry namrzavosti zemin, upravených zemin, recyklovaných materiálů a vedlejších produktů (např. popílek, hlušina, struska, recykláty) a to jak neupravených, tak upravených (dále jen zemin), které se používají pro stavbu zemního tělesa dopravních staveb.

Tato laboratorní zkouška napodobuje účinky mrazu na podloží vozovky nebo železničního spodku, za předpokladu nepříznivých podmínek kapilárního syčení, kde nárůst hodnot zdvihu odpovídá postupnému nárůstu ledových vrstviček.[8]

Pro účely této diplomové práce byla na nestmelené směsi aplikována tato metoda s drobnými úpravami, vzhledem k ne zcela homogennímu charakteru směsí, jako je tomu v případě zemin.

Zkušební zařízení a pomůcky

Zkušební zařízení se skládá z:

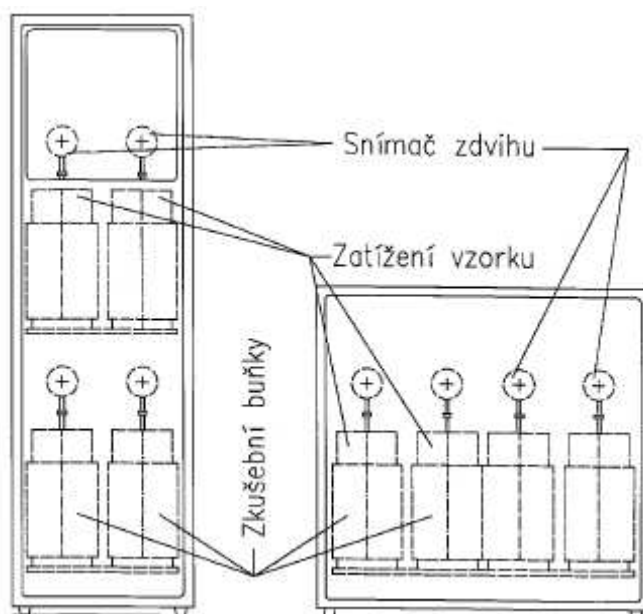
- a) chladicí skříně umožňující udržování konstantní teploty vnitřního prostředí (4 až 8 °C)
- b) čtyř zkušebních buněk, ve kterých jsou umístěna zkoušená válcová tělesa. Vzorky jsou shora zmrazovány a ze spodu syčeny vodou o stálé výšce hladiny v úrovni jeho dolní podstavy
- c) regulačního systému teplot a měřidel zdvihu

V chladicí skříně jsou umístěny 4 zkušební buňky se zkoušeným vzorkem. Chladicí skříně musí být uvnitř opatřena ventilátorem k zajištění cirkulace vzduchu. Příklady chladících skříní jsou patrné obrázku 2-4.

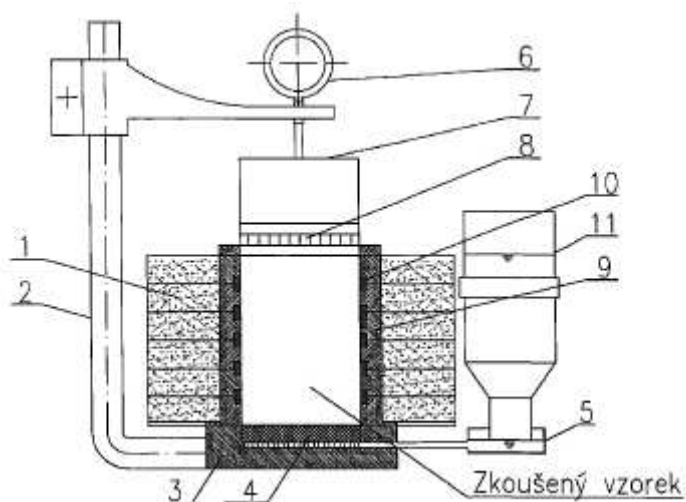
Popis jednotlivých zkušebních buněk je patrný z obrázku 2-5, kde je důležité správné sestavení prstenců, které zajišťují tenké vodící proužky, tak aby mohlo docházet k rozpínání vzorků jen ve svislém směru. Na povrchu zkoušeného vzorku je uložena mrazicí deska (8), která vyvozuje a udržuje na horní podstavě vzorku teplotu -4 ± 1 °C. Na mrazicí desce je uloženo závaží o hmotnosti $8,0 \pm 0,1$ kg, které nahrazuje tlak nadložních vrstev vozovky, případně tlak železničního svršku.

Snímač zdvihu vzorku (6) může být s automatickým záznamem nebo vizuálně odečítaný číselníkový úchylkoměr.

Regulační systém musí udržovat stálou teplotu v prostoru chladicí skříně 4 až 8 °C a na povrchu vzorku -4 ± 1 °C. [8]



Obr. 2-4 Příklady uspořádání chladicí skříně [8]



Legenda

- 1 tepelně izolační obal
- 2 držák snímače zdvihu
- 3 dno zkušební buňky
- 4 pórovitá deska
- 5 zařízení pro udržování konstantní hladiny vody
- 6 snímač zdvihu
- 7 závaží
- 8 mrazicí deska
- 9 horizontálně dělené pouzdro s válcovým otvorem
- 10 vodící kroužky
- 11 zásobník na vodu

Obr. 2-5 Zkušební buňka [8]

Příprava vzorků

Příprava vzorků proběhla způsobem popsáním v čl. 2.1.2 pro provedení modifikované Proctorovy zkoušky dle ČSN EN 13 285-2 a skládala se z vytvoření čtyř dílčích vzorků z jednotlivých vzorků směsí, jejich následném navhlčení na optimální hmotnost stanovenou dle EN 1097-5 a jejich rozdělení na dalších 5 částí pro postupné plnění mozdíře.

Nejdříve se stěny mozdíře opatřily tenkou vrstvou nátěru, pro snadné vyjmutí ztuhlého vzorku, a poté se již mohlo přistoupit k samotnému hutnění při hmotnosti pěchu 4,5 kg, výšce dopadu 457 mm a počtu hutněných vrstev pět za použití Proctorova mozdíře A.

Po vytvoření čtyř zkušebních těles dle výše uvedeného postupu a jejich opatrném vyjmutí z Proctorova mozdíře, mohlo být přistoupeno k jejich uložení na dno zkušební buňky, nasazení vodících kroužků, chladicí desky, závaží a zařízení na měření zdvihu. [8]

Postup měření

Čtyři zkušební buňky, ve kterých jsou uloženy zkoušené vzorky zhotovené dle výše uvedeného postupu, se uloží do chladicí skříně, kde je udržována teplota 4 až 8 °C, přičemž jsou vzorky přes kontakt s chladicí deskou shora zmrazovány na teplotu -4±1 °C.

Nejdříve však dochází při teplotě 4 až 8 °C k nasávání vody zdola do zkoušeného vzorku bez spuštění mrazicí desky po dobu alespoň 17 hodin. Při této době se neměří ani zdvih vzorků, který by mohl nastat nabobtnáním.

Zmrazování mrazicí deskou při teplotě -4±1 °C nastává až po uplynutí této doby. Ustálený konstantní vodnotepelný režim se udržuje po dobu 5 dní, tj. 120 hodin. V průběhu této doby se měří časový průběh zdvihu vzorku v mm.

Zdvih je měřen ve středu horní kruhové desky a je zaznamenáván každých 10 minut a hodnoty jsou ukládány do počítače. [8]

Vyhodnocení vzorků

Míra namrzavosti se stanoví hodnotou β , která je dána vztahem:

$$\beta = \frac{\Delta h}{\Delta \sqrt{I_m}} \quad (2-4)$$

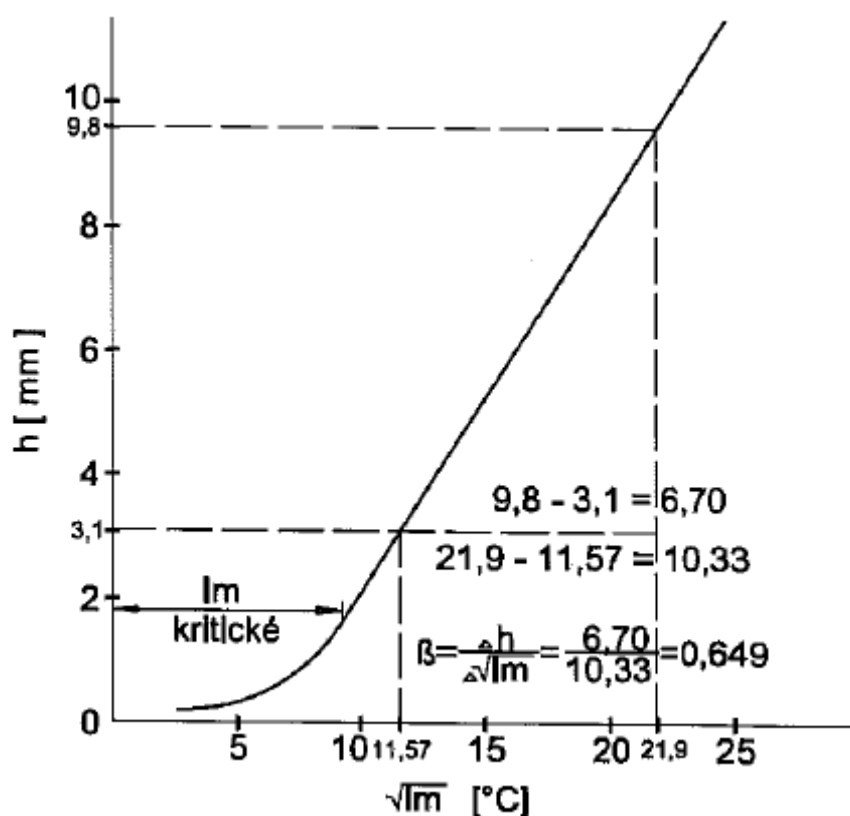
kde je

Δh naměřený zdvih zkoušeného vzorku (mm) odpovídající $\Delta \sqrt{I_m}$

I_m index mrazu (°C)

Míra namrzavosti se vyhodnocuje z lineární části závislosti zdvihu (h) na druhé mocnině indexu mrazu ($\sqrt{I_m}$). Délka lineární části použitá pro vyhodnocení musí odpovídat $\Delta\sqrt{I_m}$ nejméně 5.

Vyhodnocení je prováděno graficky a jeho příklad je patrný z obrázku 2-6. Index mrazu pro účely zkoušky míry namrzavosti podle této normy je součet absolutních hodnot průměrných hodinových teplot pod bodem mrazu ($^{\circ}\text{C}$) měřených na povrchu vzorku v předepsaných intervalech po dobu zkoušky. Při udržení konstantních teplot se pak jedná o součin uvedené teploty a doby od začátku zmrazování (hod).



Obr. 2-6 Příklad grafického vyjádření vzorku [8]

Po dobu, kdy voda mrzne v pórech zkušební vzorku, není vztah mezi Δh a $\Delta\sqrt{I_m}$ lineární. Po dosažení kritického indexu mrazu je tento vztah lineární a hodnocená charakteristika namrzavosti je vlastně směrnici přímkové části tohoto vztahu. Lineární nárůst se však výrazně zastaví, pokud zkušební vzorek po celé své výšce zmrzne.

Míra namrzavosti se určuje jako aritmetický průměr ze čtyř měření, přičemž odchylka od průměru naměřených hodnot nesmí být větší než 10%. Jednu z naměřených hodnot lze vyloučit, jestliže tuto podmínku nesplňuje. Stává se to tehdy, je-li zemina nehomogenně zhutněná, nebo je porušen konstantní vodněteplotní režim. [8]

POZNÁMKA: Od výše popsané podmínky muselo být vzhledem k nezcela homogennímu charakteru zkoušených směsí upuštěno.

Kritérium míry namrzavosti je uvedeno v tabulce 2-8.

Míra namrzavosti zemín a materiálů	Průměrná hodnota β
Nenamrzavé	< 0,25
Mírně namrzavé a namrzavé	0,25 až 0,50
Nebezpečně namrzavé	> 0,50

Tab. 2-8 Kritérium míry namrzavosti [8]

2.2. KONTROLA NAMRZAVOSTI V ZEMÍCH EU

Problematiku namrzavosti řeší v rámci Evropské Unie pracovní skupina CEN TC 227, WG4, jež má za úkol připravit sjednocenou metodiku přímého měření namrzavosti pro připravovanou evropskou normu. Členy této komise jsou Švédsko, Norsko, Finsko, Dánsko, Německo, Rakousko, Belgie, Francie, Velká Británie a v neposlední řadě Česká republika. [9]

Na rok 2016 se připravuje vydání revidované EN 13 285 jako ČSN EN 13 285, tato norma již nebude mít národní přílohu, ta bude zapracována do nové ČSN 73 6126-1. U příležitosti revize ČSN 73 6126-1 by měly být do této normy zapracovány požadavky na vozovky s nestmeleným krytem pro velmi nízké dopravní zatížení, cyklostezky, chodníky, parkovací a odstavné plochy apod. [10]

2.2.1 Švédsko

Ve Švédském národním a dopravním výzkumném institutu VTI byla Akem Hermanssonem vyvinuta zcela nová zkušební metoda zkoušení míry namrzavosti zemín, jejímž úkolem byla snaha o obdržení názornějšího a přesnějšího chování a působení vody v průběhu zmrazování.

Zkušební zařízení je složeno ze dvou do sebe zapadajících válců vyrobených z PVC, jehož spodní část se nazývá sací a její výška je 480 mm a vrchní část tvoří víko o výšce 200 mm, popis a ukázka zkušebního zařízení je patrná z obrázku 2-7.

Zkušební tělesa mají průměr 122,5 mm a výšku 580 mm a jsou získané buďto přímo in situ nebo hutněné v laboratoři.



Obr. 2-7 Zkušební zařízení užívané ve Švédsku
a) zkušební válec, b) sací část, c) nasazení vlka, d) průběh zkoušky [9]

Postup zkoušky a její vyhodnocení

Zkouška je prováděna v místnosti s regulovanou teplotou vzduchu mezi 4 a 6 °C. Zkušební těleso je zatěžováno svislým zatížením 10 kg, které nahrazuje zatížení konstrukčních vrstev vozovek. Před započítáním zkoušky je na vlko instalováno chladicí zařízení a spodek válce je ponořen do nádrže s vodou. V nádrži je udržována konstantní úroveň hladiny vody a průběžně zaznamenávána saturace zeminy. Horní část tělesa asi do hloubky 250 mm je zmrazována. Pro kontrolu míry promrzání a jeho rychlost byl vypracován speciální kontrolní program, který automaticky ukončí zmrazování tělesa ve chvíli, kdy dojde ke zmrazení celé jeho horní části, v tuto chvíli ukazují teplotní snímače teplotu pod 0 °C.

Průměrná doba trvání zkoušky je 5 dnů, přičemž první dva dny je zkušební těleso ponecháno volně saturovat a konsolidovat. K zmrazování dojde až třetí den zkoušky a je většinou automaticky ukončeno po třech až čtyřech dnech.

Po ukončení zkoušky je zkušební těleso vytlačeno ze sacího válce, spodní nezamrzlá část je nakrájena na plátky o tloušťce 50 mm, ze kterých se stanoví vlhkost. Případně může být na tělese provedena zkouška pevnosti v tlaku. Konečným výsledkem celé zkoušky je vyčíslení průměrného mrazového zdvihu, který nastane během třetího dne zmrazování [mm/h]. [9]

Ake Hermansson se ve své doktorské práci mimo jiné zabýval otázkou do jaké míry jsou způsobeny mrazové zdvihy bobtnáním zkoušeného materiálu a do jaké míry jeho citlivostí na mráz.

Byly provedeny zkoušky na 71 vzorcích odebraných v různých státech USA. Ve vzorcích byl zastoupeny materiály podkladních vrstev a zeminy.

U některých vzorků, které nebyly 100% saturovány byly naměřeny větší mrazové zdvihy, oproti 100% saturovaným vzorkům. Tato skutečnost souvisí s rozdílnou kvalitou jemných částic (například obsah jílovitých minerálů způsobujících bobtnání).

Obecně se ukázalo, že větší procento tvorby mrazových zdvihů, bylo způsobeno namrzavostí těchto materiálů. Protože zmrzlá voda zvětšuje svůj objem o 9%, zjištěné zvětšení objemu o 1,09 by znamenalo, že veškerá saturace materiálu pod bodem mrazu přispívá k výskytu mrazových zdvihů.

Vzorky vykazující malé zvětšení objemu byly značně pórovité a tato skutečnost naznačuje, že materiál s dostatečnou pórovitostí umožňuje formaci ledu dostat se do pórů, aniž by došlo k výraznému zvětšení objemu, neboli mrazovému zdvihu. V našich podmínkách by se jednalo o materiály s otevřenou kostrou, například vibrovaný štěrk. [11]

2.2.2 Norsko

V Norsku jsou pro zjištění míry namrzavosti využívány dvě metody. Jedná se o metodu NTNU a metodu NGI. Druhá jmenovaná metoda využívá velmi rozsáhlý měřicí systém, a tudíž je využívána zejména pro výzkumné účely.

Zkušební tělesa jsou vytvořeny ze směsi frakce 0/32, jejich maximální velikost zrna je 20 mm, případně 10 mm. Vzorky jsou hutněny standardní Proctorovou energií při optimální vlhkosti. Přípravují se dvě tělesa o průměru 125 mm (NTNU) a 90 mm (NGI) a výšky 125 mm (NTNU) a 100 mm (NGI).

Postup zkoušky a její vyhodnocení

Zkouška probíhá v mrazící skříni, kde je udržována teplota -5 °C až +1 °C (NTNU), případně -2 °C (NGI).

Vzorky se oproti zkouškám v ostatních zemích nenechávají saturovat, ale ke zkoušení se přistupuje ihned po jejich zhutnění. V průběhu zkoušky jsou tělesa ze spodu saturována

vodou o teplotě $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (NTNU) nebo $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (NGI), přičemž jejich horní část je vystavena teplotám $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (NTNU) a $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (NGI).

U metody NTNU je zkouška ukončena po 4 dnech (96 hodinách), v případě metody NGI není doba trvání zkoušky nijak omezena, pohybuje se však obvykle mezi 4 a 10 dny. Po ukončení zkoušky se vyhodnocuje mrazový zdvih [mm/h]. [9]

2.2.3 Finsko

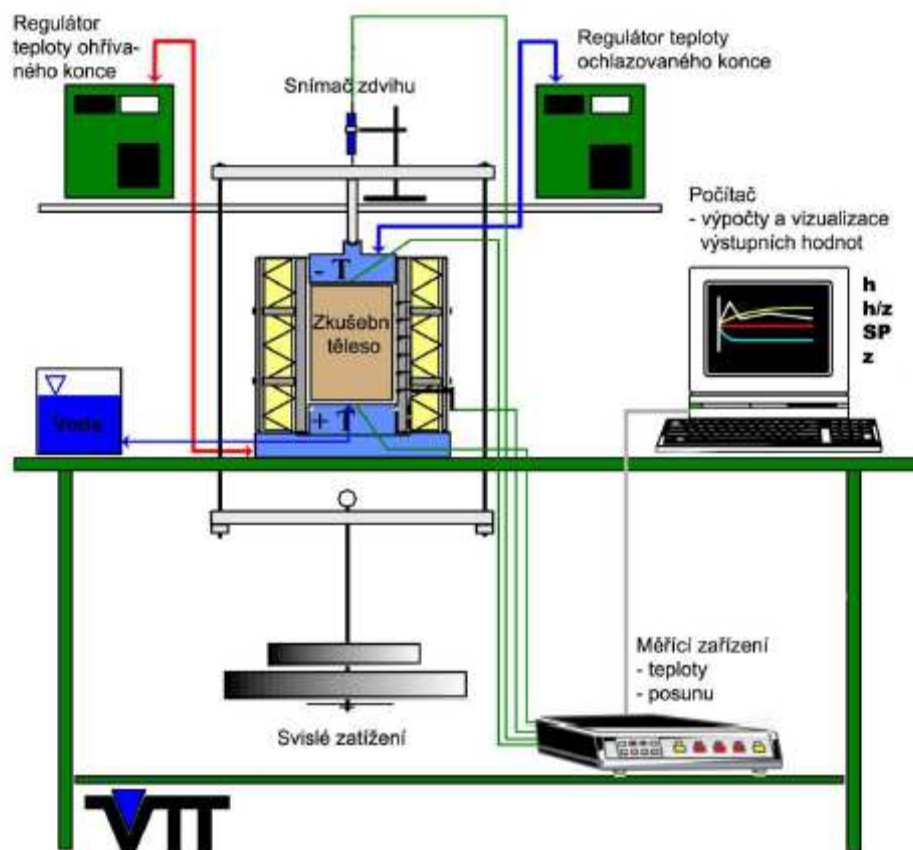
Tato zkouška je složena ze tří individuálních zkoušek mrazových zdvihů, u kterých je v průběhu zmrazování zvyšována hodnota zatížení (2, 20 a 40 kPa) a v průběhu rozmrazování je těleso zatíženo buďto 20 nebo 40 kPa.

Zkušební tělesa jsou odebírána na vzorcích rostlé půdy a to jako zmrzlý či nezmrzlý vzorek, a nebo připravována ve formách. V závislosti na zrnitosti vzorku jsou využívány zkušební buňky o průměru 80, 100, nebo 150 mm.

Postup zkoušky a její vyhodnocení

Před zahájením zkoušky se nechává těleso zmrazit bez zatížení, čímž se dosáhne úplné saturace vzorku. Instalace tělesa do zařízení by měla proběhnout v místnosti s teplotou $0\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, po instalaci je tělesu umožněno po dobu 24 hodin rozmrazovat, při teplotě cirkulující tekutiny ve spodní i vrchní části zkušební buňky $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$. V této době je na zkušební těleso vyvozeno obvykle zatížení 20 kPa. Se zahájením zkoušky je změněna hodnota zatížení na těleso a to na 2 kPa, přičemž je vrchní část tělesa vystavena teplotě $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ a spodní část pak $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tyto podmínky jsou pak udržovány po dobu alespoň 24 hodin. Zmrazování je ukončeno ve chvíli, kdy celková hodnota promrzání (promrzání minus mrazový zdvih) je nulová po dobu minimálně 4 hodin.

Po ukončení zmrazování je zatížení zvětšeno na 20 kPa, teplota horní části je změněna na $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a spodní část na $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Rozmrazování je ukončeno ve chvíli, kdy výška tělesa zůstává konstantní minimálně po dobu 4 hodin. Poté následuje opět fáze zmrazování se zatížením 20 kPa, po ukončení této fáze je těleso opět rozmrazováno tentokrát se zatížením 40 kPa. Obvykle poslední fází této zkoušky (pokud není stanoveno jinak) je opětovné zmrazování vzorku zeminy pod zatížením 40 kPa. Ve Finsku používané měřicí zařízení je patrné z obr. 2-8.



Obr. 2-8 Měřicí zařízení používané ve Finsku [9]

Po ukončení zkoušky se vyhodnocuje:

- mrazový zdvih (h)
- výška nezamrzlé části zkušební tělesa (Z_s)
- hloubka promrzání (Z_j)
- rozdíl mrazových zdvihů (h/Z_j)
- poměr mrazového zdvihu ($\Delta h/\Delta t$)
- teplotní gradient ($\text{grad}T$)
- potenciál segregace (index mrazového zdvihu, SP)
- koeficient konsolidace během tání (c_v) [9]

2.2.4 Dánsko

V současné době se v Dánsku neprovádí přímé měření míry namrzavosti, ale využívají se poznatky z minulosti a namrzavost zemin a jiných materiálů se určuje s ohledem na

jejich geologický původ. Nejběžnějšími zeminami, které se v Dánsku nacházejí jsou morénové jíly a písky (případně jejich obměny, kterých ale není mnoho).

Tento poněkud pasivní přístup Dánska k problematice namrzavosti se mění přijímáním evropských norem, jedná se například o normu EN 1367-1 Zkoušení odolnosti kameniva vůči teplotě a zvětrávání - Část 1: Stanovení odolnosti proti zmrazování a rozmrazování. [9]

2.2.5 Německo

Německé předpisy definují dva pojmy při rozhodování o vhodnosti zemin, nestmeleného kameniva a směsí pro výstavbu vozovek a to namrzavost a mrazuvzdornost. Míra namrzavosti je definována v režimu soustavy zrno-voda-vzduch, vyskytující se v zemině. Mrazuvzdornost je pak vyjádřena jako odolnost jednotlivých zrn ve směsi nebo nestmeleném kamenivu vůči účinkům mrazu v kombinaci s vodou.

Při posouzení míry namrzavosti jsou zeminy klasifikovány na základě DIN 18196 „Klasifikace zemin pro účely výstavby“ a jsou podmíněny materiálem.

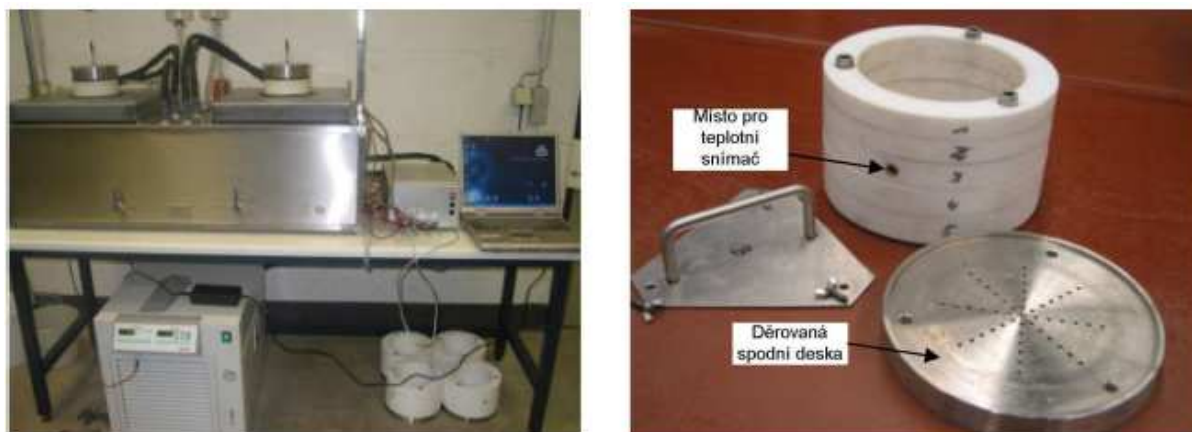
Pro zatřídění je důležitý podíl zrn $\leq 0,063$ mm:

- velikost zrna $> 0,063$ mm je větší než 95% \Rightarrow klasifikace dle čáry zrnitosti
- velikost zrna $\leq 0,063$ mm je větší než 40% \Rightarrow klasifikace dle konzistence
- velikost zrna $\leq 0,063$ mm je 5 až 40% \Rightarrow klasifikace dle čáry zrnitosti a konzistence
-

Třída namrzavosti	Míra namrzavosti	Klasifikace dle DIN 18196
F1	Nenamrzavá	Štěrk, písky, materiály s úzkou, mezerovitou nebo otevřenou zrnitostí
F2	Mírně namrzavá až namrzavá	Jíly s vysokou plasticitou
		Humusové půdy
		Směsné písčité zeminy
F3	Vysoce namrzavá	Jíly se střední a nízkou plasticitou
		Směsné prachovité zeminy
		Štěrk a písky s vysokým obsahem prachovitých a jílovitých částic

Tab. 2-9 Zjednodušená klasifikace zemin dle namrzavosti [9]

Maximální velikost zrna zkušebních těles je omezena na 22,4 mm, vzorky jsou hutněny standardní Proctorovou energií při optimální vlhkosti do válcové formy o průměru 150 mm a výšce 125 mm. Forma je složena z pěti prstenců, které jsou vyrobeny z teflonu kvůli snížení tření na stěnách. Měřicí zařízení užívané v Německu je patrné z obrázku 2-9.



Obr. 2-9 Měřicí zařízení, prstence formy a děrovaná spodní deska užívané v Německu [9]

Postup zkoušky a její vyhodnocení

Těleso je umístěno do chladicí skříně, kde je po dobu 24 hodin vystaveno konstantní teplotě vzduchu ($+1,5 \pm 0,5$) °C, přičemž je povrch tělesa zatěžován závažím o hmotnosti $0,5 \text{ N/cm}^2$, jež simuluje zatížení vyvolané spodní podkladní vrstvou o tloušťce asi 200 mm.

Podle způsobu zmrazování se rozlišují dvě varianty:

- varianta A - povrch tělesa je ochlazován tak, aby po uplynutí 4 dnů bylo docíleno uprostřed tělesa teploty 0 °C. Tento stav je udržován po dobu 3 dnů. Teplota zmrazování není tedy přesně stanovena a ani není konstantní, ale mění se podle individuálních potřeb.
- varianta B - povrch tělesa je zmrazován při konstantní teplotě -4 °C po dobu 7 dní.

Ze zkoušek jsou stanoveny následující parametry:

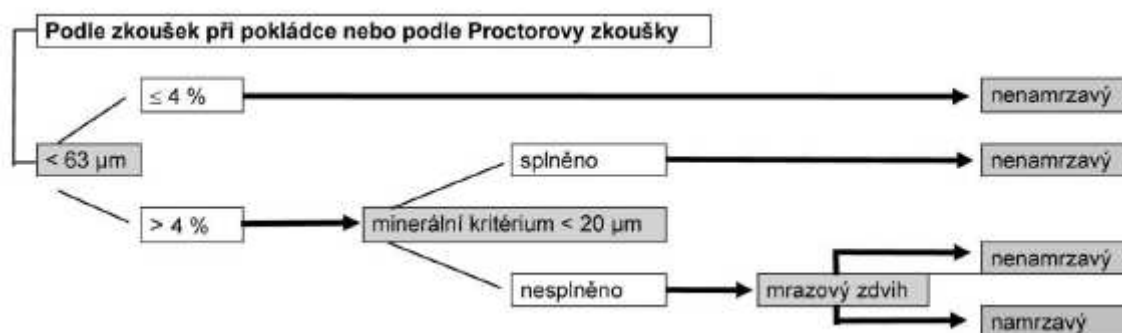
- zdvih během počáteční fáze, $s_{FH,0}$ [mm]
- zdvih po 7 dnech, $s_{FH,7}$ [mm]
- zdvih na konci stádia zmrazení, $s_{FH,E}$ [mm]
- zdvih po rozmrazení, $s_{FH,A}$ [mm]

Na základě stanovených parametrů jsou odvozeny následující hodnoty:

- bobtnání v počáteční fázi, Δs_0
 - největší mrazový zdvih, $\Delta s_{FH,max} = s_{FH,E} - s_{FH,O}$ (2-5)
 - možný mrazový zdvih, $\Delta s_{FH,R} = s_{FH,A} - s_{FH,O}$ (2-6)
 - směrodatná rychlost tvorby mrazových zdvihů, $V_{FH} = s_{FH,E} - s_{FH,7}$ (2-7)
- [9]

2.2.6 Rakousko

Posuzování namrzavosti se v Rakousku provádí dle normy ÖNORM B 4810 „Zkušební metody pro ověření mechanických a fyzikálních vlastností kameniva - Namrzavost směsí pro nestmelený podklad při výstavbě silnic a letištních ploch. Tato norma je založena na předpokladu, že míra namrzavosti přírodního kameniva a směsí je určena při splnění podmínek uvedených v grafu 2-1.



Graf 2-1 Model pro posouzení namrzavosti dle ÖNORM B 4810 [9]

Postupuje se tak, že nejdříve musí být v laboratoři provedena modifikovaná Proctorova zkouška a následně je pomocí rentgenové analýzy (XRD, RDA) stanoven podíl jemných částic < 0,063 mm respektive < 0,02 mm (viz tabulka 2-10).

Podíl < 0,02 mm	Mineralogické složení frakce < 0,02 mm
do 3 % hmotnosti	Stanovení jednotlivých minerálů není nutné, je přípustné použití 100 % aktivních minerálů
> 3 % – 5 % hmotnosti	<p>U ověřených směsí kameniva stanovení jednotlivých minerálů není nutné</p> <p>U neověřených směsí kameniva se postupuje takto:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. neaktivní minerály: 100 % 2. heterogenní směsi neaktivních a aktivních minerálů, přičemž dále uvedené mezní hodnoty [a] až e)] a dodatečně i mezní hodnoty [f] až i)] kombinací aktivních minerálů nesmějí být překročeny (množství: 5 % hmotnosti frakce < 0,02 mm): <ol style="list-style-type: none"> a) 10 % skupina kaolinitů b) 30 % skupina chloritů c) 30 % skupina vermikulitů d) 40 % skupina smektitů e) 50 % skupina slíd f) 60 % skupina slíd + skupina chloritů g) 50 % skupina slíd + skupina chloritů + skupina kaolinitů h) 50 % skupina slíd + skupina kaolinitů i) 40 % skupina slíd + skupina chloritů + skupina kaolinitů + skupina smektitů <p>Směsi křemičitanů s vrstevnatou strukturou, které zde dále nejsou uvedeny, jsou přípustné do celkového objemu max. 40 % (množství: 5 % hmotnosti frakce < 0,02 mm), jinak je nezbytné provedení zkoušek mrazových zdvihů.</p> <p>Mezi 3 % hmotnosti (je přípustné 100 % aktivních minerálů) a 5 % hmotnosti [mezní hodnoty a) až i)] je nutno přípustné mezní hodnoty lineárně interpolovat.</p> 3. Pokud výrazné červenohnědé zbarvení poukazuje na možnost přítomnosti hydroxidů železa, je rovněž nezbytné provedení zkoušek mrazových zdvihů.
>5 % – 8 % hmotnosti	Při podílu 8 % hmotnosti lze používat výhradně neaktivní minerály. Mezi 5 % – 8 % hmotností je nutno přípustné mezní hodnoty lineárně interpolovat.

Tab. 2-10 Mezní hodnoty minerálního kritéria dle normy ÖNORM B 4810 [9]

Používání minerálního kritéria se v zásadě osvědčilo, když směs, která byla označena jako nenamrzavá, tuto svoji vlastnost v praxi prokázala. V mnoha případech se však hodnoty takto posuzované ukázaly jako velmi přísně hodnotící. Nevýhodou je i způsob vyhodnocení této metody, který je velmi nákladný a nepřesný.

V případě nutnosti provedení přímého měření se zkouška provádí na dvou zkušebních tělesech průměru a výšky 150 mm směsí kameniva, které propadne sítem 31,5 mm. Tělesa jsou hutněna standardní Proctorovou energií při optimální vlhkosti. Do každého tělesa je umístěn teplotní snímač.

Postup zkoušky a její vyhodnocení

Zkušební těleso je umístěno do nádrže s vodou, tak aby její hladina byla alespoň 1 až 2 cm nad horní okraj tělesa a těleso mohlo být zespodu saturováno vodou, jejíž teplota je $(4 \pm 0,5) ^\circ\text{C}$ a je nutné ji udržet po dobu alespoň 24 hodin. Po této době je provedeno počáteční měření, po 4 dnech zmrazování by uprostřed mělo být docíleno teploty $0 ^\circ\text{C}$. Tento stav je za stálé teploty udržován po dobu 3 dnů. Po této době nastává fáze rozmrazování, které by mělo trvat alespoň 24 hodin při pokojové teplotě.

Mrazový zdvih je měřen dvakrát denně, dokud poměr zdvihu mezi dvěma dny není menší než 1 mm. Teplota se měří každou hodinu, po zmrazení je nutné stanovení gradientu. Výsledkem je určení střední hodnoty zdvihu obou vzorků pro každý den, maximální odchylka jednotlivých výsledků od střední hodnoty by se měla pohybovat ± 2 mm. [9]

2.2.7 Belgie

V současné době v Belgii neexistuje přímá metoda zkoušení míry namrzavosti vhodná pouze pro upravené a neupravené zeminy.

Pro hydraulicky zpevněné směsi se užívají francouzské metody popsané v normě NF P 98-234-1. Tato metoda je založena na srovnání pevnosti tlaku vzorků směsí vystavených cyklickému zmrazování a rozmrazování.

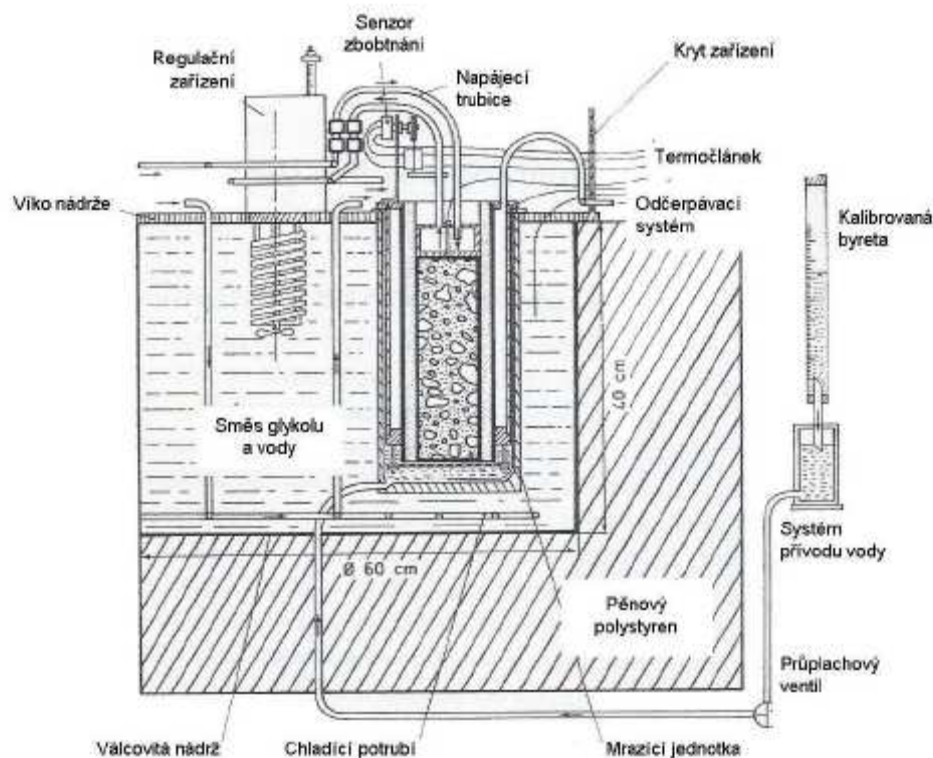
Pro posouzení míry namrzavosti nepevněných směsí vozovek komunikací slouží upravená evropská norma EN 1367-1 Zkoušení odolnosti kameniva vůči teplotě a zvětrávání - Část 1: Stanovení odolnosti proti zmrazování a rozmrazování. [9]

2.2.8 Francie

Při zkoušce jsou hutněna 2 zkušební tělesa a to standardní nebo modifikovanou Proctorovou energií při vlhkosti odpovídající objemové zeminy v suchém stavu s 95% optimum. Tak je dosaženo vysokého stupně saturace a jsou vytvořeny podmínky pro dosažení maximálního mrazového zdvihu. Rozměry zkušební tělesa jsou dány zrnitostí zkoušeného materiálu a to pro směsi se zrnitostí 0/20 mm jsou používána tělesa s průměrem 150 mm \pm 10 mm a délkou 320 mm \pm 10 mm. Pro směsi zrnitosti 0/200 jsou používána tělesa s průměrem 865 mm a délkou 1050 mm.

Postup zkoušky a její vyhodnocení

Zkušební tělesa se nechají po dobu (18 \pm 2) h odpočívat. Poté následuje ponoření spodní části tělesa do vody o teplotě 1 až 2 °C a vrchní část se vystaví teplotě -5,7 °C na dobu 12 dní. Po ukončení zmrazování jsou pořízeny fotografie tělesa, je zaznamenána úroveň zmrzlé plochy a pozice každé ledové čočky, včetně jejího typu. Zkušební těleso je podélně rozpůleno za účelem určení vlhkosti v každé jeho vrstvě. Z obrázku 2-10 je patrný systém měřicího zařízení užívaného ve Francii.

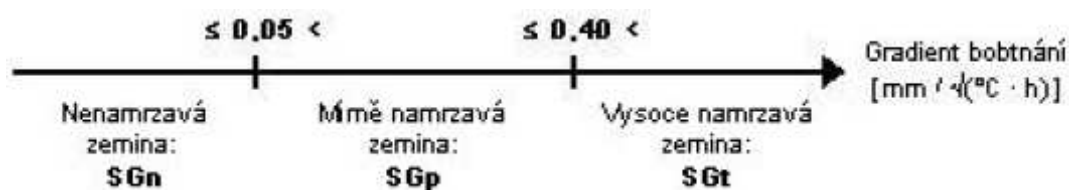


Obr. 2-10 Měřicí zařízení užívané ve Francii [9]

Měří se z bobtnání zkušebních těles, dále se určí závislost mezi bobtnáním materiálu X_G [mm] a indexem mrazu I [$^{\circ}\text{C} \cdot \text{den}$] působícím na povrch zkušebního tělesa.

Výsledek cyklu zmrazování je vyjádřen kombinací intenzity mrazu a doby trvání teplot pod bodem mrazu. Index mrazu je pak suma průměrných denních teplot během období mrazu.

Dále se stanoví gradient této lineární závislosti, který se užívá k charakterizování míry namrzavosti zkoušeného materiálu. Pro návrh vozovek z hlediska ochrany proti mrazu jsou stanoveny dva gradienty prahových hodnot, které definují tři třídy namrzavosti (viz graf 2-2). [9]



Graf 2-2 Třídy namrzavosti ve Francii [9]

2.2.9 Velká Británie

Zkouška je prováděna na třech sadách zkušebních těles zkoušeného materiálu, přičemž každá sada obsahuje tři zkušební tělesa. První dvě sady jsou určeny pro zkoušený materiál, ta třetí pak pro kontrolní vzorky normalizovaných materiálů. Jako kontrolní vzorek bývá nejčastěji používána směs suchého písku a vápenné moučky.

Zkušební tělesa mají průměr 100 mm a výšku 150 mm, jsou hutněna vibračními kladivy při optimální vlhkosti. Po zhutnění jsou jednotlivá tělesa obalena voskovým papírem, který se upevní lepicí páskou, a jsou ponechána ve vodní lázni po dobu (115 ± 5) hodin saturovat.

Postup zkoušky a její vyhodnocení

Po uplynutí doby potřebné k saturaci je přistoupeno k samotné zkoušce, kdy jsou tělesa ochlazována při stálé teplotě vzduchu -16 až 18 °C. Teplota vodní lázně je udržována v rozmezí $+3$ až $+4,5$ °C. Zkouška je ukončena nejdříve po 4 dnech, tj. 96 hodinách ochlazování.

Pro každé zkušební těleso je stanovena maximální hodnota mrazového zdvihu, pro každou sadu vzorků jsou hodnoty pro potřeby kontroly průměrovány.

Aby bylo dosaženo platnosti naměřených hodnot, musí být splněny určité podmínky:

- průměrná hodnota mrazového zdvihu pro sadu těles kontrolních vzorků se pohybuje v rozsahu $(4 \pm 13,6)$ mm
- rozsah maximálních hodnot pro všechny tři sady zkušebních těles nesmí překročit 6 mm [9]

PRAKTICKÁ ČÁST

3. PŘÍPRAVA VZORKŮ

Praktická část diplomové práce byla provedena na pěti vzorcích směsi kameniva v kvalitě MZK a ŠDA v jednotné frakci 0/32.

Vzorky byly namíchány z různých druhů drobného a hrubého kameniva s postupným zvyšováním obsahu jemných částic. Jednotlivé druhy směsí jsou patrné z tab. 3-1.

Vzorek	Obsah jemných částic [%]	Směs	Frakce
A	7	MZK	0/32
B	9	MZK	0/32
C	12	ŠDA	0/32
D	15	MZK	0/32
E	19	ŠDA	0/32

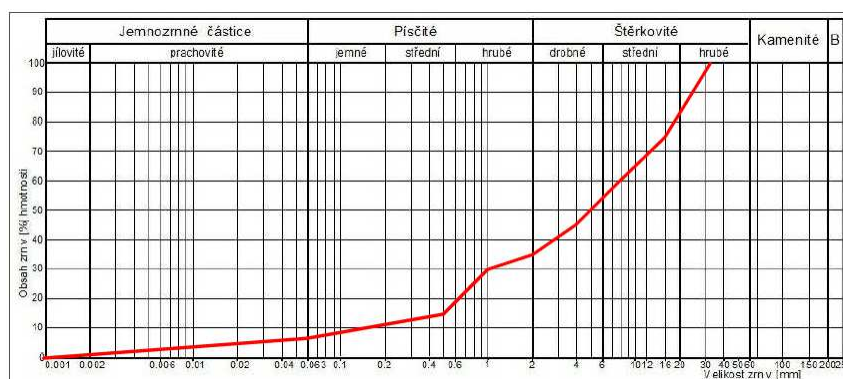
Tab. 3-1 Soupis vzorků

3.1. VZOREK A

Vzorek A byl připraven jako směs MZK ve frakci 0/32 podle zrnitostního rozboru dle tab. 3-2. Jeho křivka zrnitosti je patrná z obr. 3-1. Byl namíchán ze vzorků drobného a hrubého kameniva z lokalit Košťálov, Podhůra a Lhota Rapotina. Struktura vzorku A je zřejmá z obr. 3-2.

Propad v procentech hmotnosti							Kategorie	Směs	Frakce
Síto A	Síto B	Síto C	Síto E	Síto F	Síto G	≤ 0,063mm			
75	60	45	35	30	15	7	G _c	MZK	0/32

Tab. 3-2 Zrnitostní rozbor vzorku A



Obr. 3-1 Křivka zrnitosti vzorku A



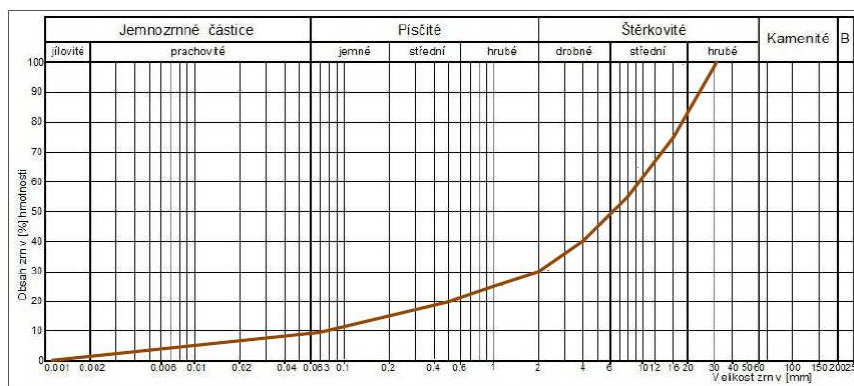
Obr. 3-2 Foto vzorku A

3.2. VZOREK B

Vzorek B byl připraven jako směs MZK ve frakci 0/32 podle zrnitostního rozboru dle tab. 3-3. Jeho křivka zrnitosti je patrná z obr. 3-3. Byl namíchán ze vzorků drobného a hrubého kameniva z lokalit Košťálov, Podhůra a Vícenice. Struktura vzorku B je zřejmá z obr. 3-4.

Propad v procentech hmotnosti							Kategorie	Směs	Frakce
Síto A	Síto B	Síto C	Síto E	Síto F	Síto G	$\leq 0,063\text{mm}$			
75	55	40	30	25	15	9	G _A	MZK	0/32

Tab. 3-3 Zrnitostní rozbor vzorku B



Obr. 3-3 Křivka zrnitosti vzorku B



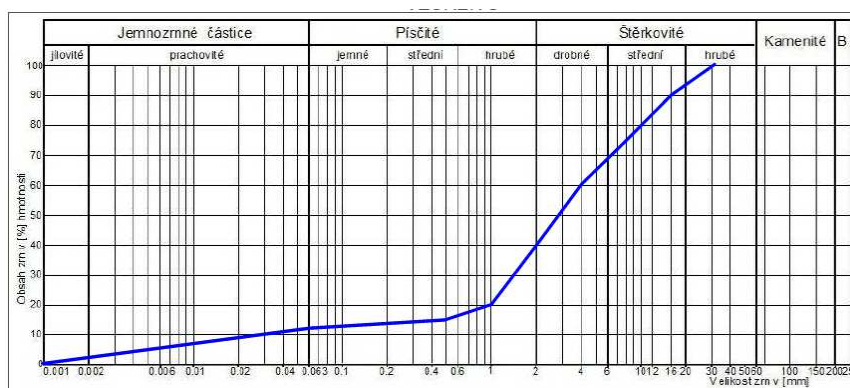
Obr. 3-4 Foto vzorku B

3.3. VZOREK C

Vzorek C byl připraven jako směs ŠD_A ve frakci 0/32 podle zrnitostního rozboru dle tab. 3-4. Jeho křivka zrnitosti je patrná z obr. 3-5. Byl namíchán ze vzorků drobného a hrubého kameniva z lokalit Košťálov, Lhota Rapotina a Vícenice. Struktura vzorku C je zřejmá z obr. 3-6.

Propad v procentech hmotnosti							Kategorie	Směs	Frakce
Síto A	Síto B	Síto C	Síto E	Síto F	Síto G	≤ 0,063mm			
90	75	60	40	20	15	12	G _E	ŠD _A	0/32

Tab. 3-4 Zrnitostní rozbor vzorku C



Obr. 3-5 Křivka zrnitosti vzorku C



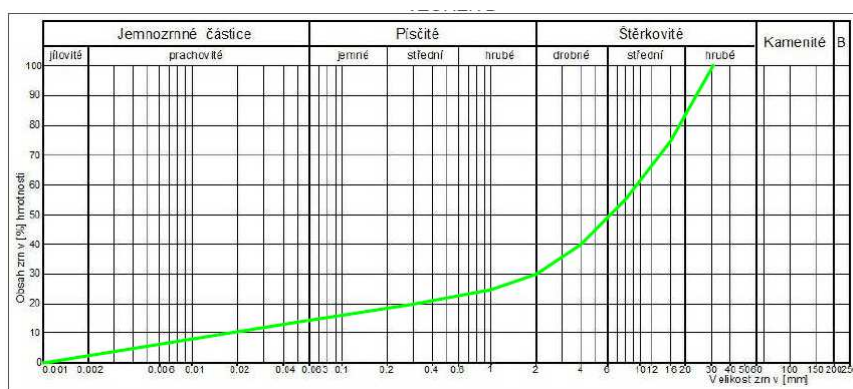
Obr. 3-6 Foto vzorku C

3.4. VZOREK D

Vzorek D byl připraven jako směs MZK ve frakci 0/32 podle zrnitostního rozboru dle tab. 3-5. Jeho křivka zrnitosti je patrná z obr. 3-7. Byl namíchán ze vzorků drobného a hrubého kameniva z lokalit Košťálov, Lhota Rapotina a Tišnov. Struktura vzorku D je zřejmá z obr. 3-8.

Propad v procentech hmotnosti							Kategorie	Směs	Frakce
Síto A	Síto B	Síto C	Síto E	Síto F	Síto G	$\leq 0,063\text{mm}$			
75	55	40	30	25	20	15	G _A	MZK	0/32

Tab. 3-5 Zrnitostní rozbor vzorku D



Obr. 3-7 Křivka zrnitosti vzorku D



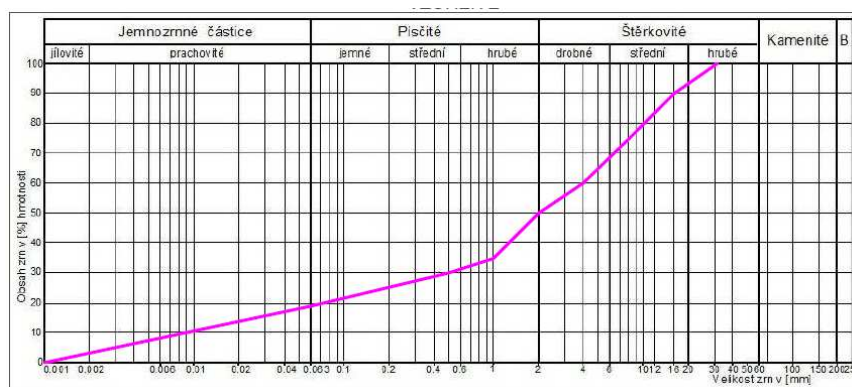
Obr. 3-8 Foto vzorku D

3.5. VZOREK E

Vzorek E byl připraven jako směs ŠD_A ve frakci 0/32 podle zrnitostního rozboru dle tab. 3-6. Jeho křivka zrnitosti je patrná z obr. 3-9. Byl namíchán ze vzorků drobného a hrubého kameniva z lokalit Vícenice, Lhota Rapotina a Tišnov. Struktura vzorku E je zřejmá z obr. 3-10.

Propad v procentech hmotnosti							Kategorie	Směs	Frakce
Síto A	Síto B	Síto C	Síto E	Síto F	Síto G	$\leq 0,063\text{mm}$			
90	75	60	50	35	30	19	G_E	ŠD_A	0/32

Tab. 3-6 Zrnitostní rozbor vzorku E



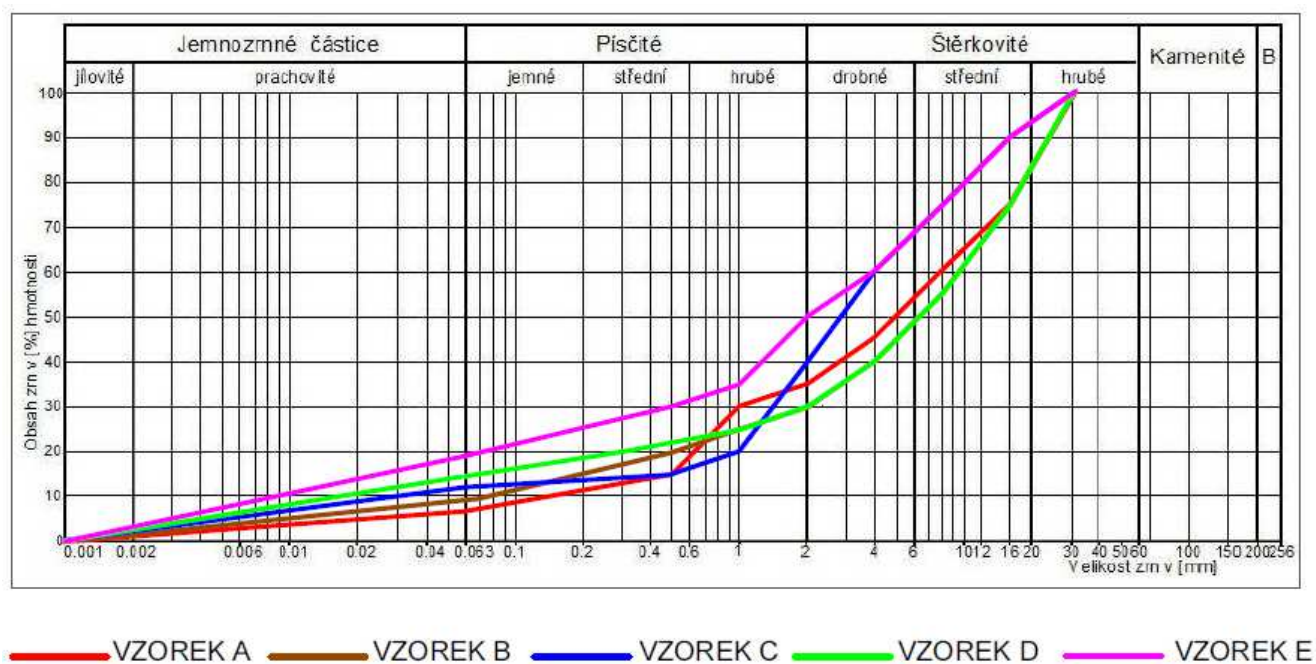
Obr. 3-9 Křivka zrnitosti vzorku E



Obr. 3-10 Foto vzorku E

3.6. SOUHRN VZORKŮ

Při pohledu na souhrnnou křivku zrnitosti obr. 3-11 je patrné, že vzorky A, B a D (směs MZK) mají plynulejší křivku zrnitosti oproti vzorkům C a E (směs ŠDA), na které nejsou kladeny tak přísné požadavky na zrnitost - viz teoretická část.



Obr. 3-11 Souhrnná křivka zrnitosti

4. LABORATORNÍ ZKOUŠKY

4.1. ZKUŠEBNÍ VZORKY

Vzorek	Obsah jemných částic [%]	Lokalita	Směs	Frakce
A	7	Košťálov Podhůra Lhota Rapotina	MZK	0/32
B	9	Košťálov Podhůra Vícenice	MZK	0/32
C	12	Košťálov Lhota Rapotina Vícenice	ŠD _A	0/32
D	15	Košťálov Lhota Rapotina Tišnov	MZK	0/32
E	19	Vícenice Lhota Rapotina Tišnov	ŠD _A	0/32

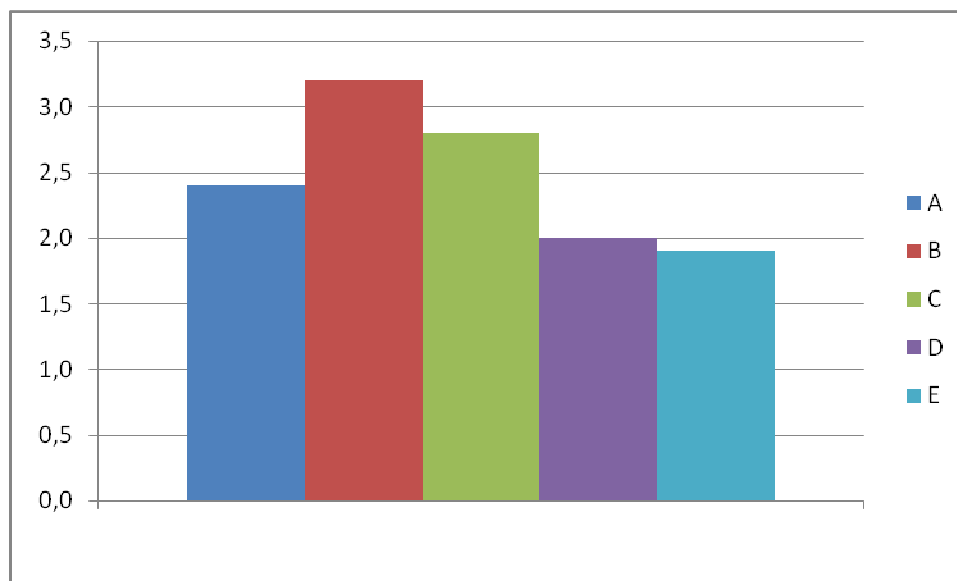
Tab. 4-1 Seznam vzorků

Jednotlivé směsi byly připraveny dle ČSN EN 13 285 a jejich křivky zrnitosti jsou uvedeny jako příloha P1 až P5.

4.2. PROCTOROVA ZKOUŠKA

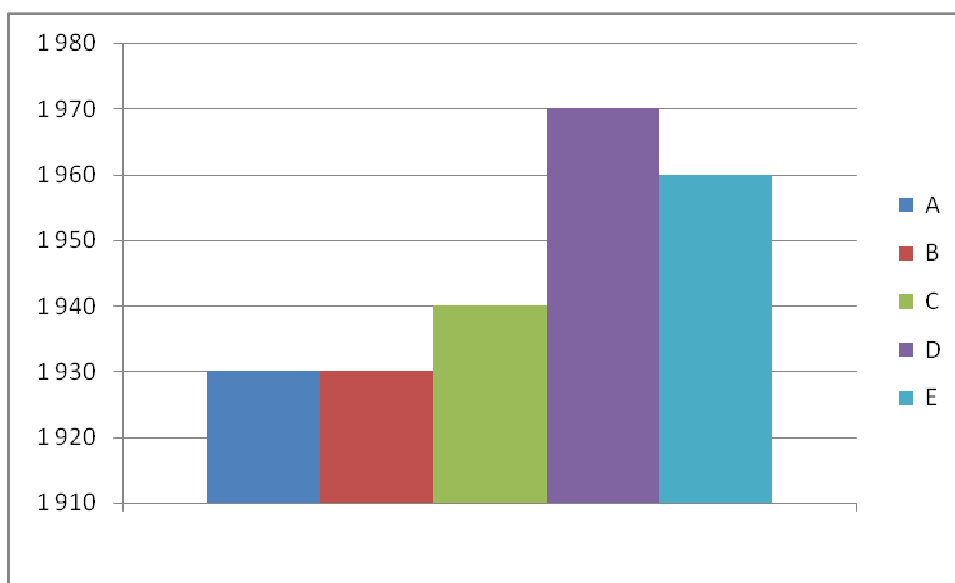
Zkouška byla provedena za účelem zjištění optimální vlhkosti pro dosažení maximální suché objemové hmotnosti a tím dosažení maximální míry zhutnění na všech pěti vzorcích kameniva dle ČSN EN 13 286-2. Pro dané směsi byla zvolena Proctorova zkouška modifikovaná s moždířem A. V průběhu zkoušky se nevyskytly žádné neočekávané problémy a komplikace. Protokoly ze zkoušek jsou uvedeny jako přílohy P6 až P10.

Z grafu 4-1 je patrné vyjádření výsledků optimální vlhkosti v závislosti na zrnitosti směsi, kde je patrné že vzorky s menším obsahem jemných částic (7,9 a 12 %) mají vyšší optimální vlhkost oproti vzorkům s vyšším obsahem jemných částic (15 a 19 %).



Graf 4-1 Optimální vlhkost směsí

Dále v grafu 4-2 jsou vyjádřeny výsledky maximálních suchých objemových hmotností jednotlivých směsí. Z tohoto grafu je patrné, že vyšších objemových hmotností dosáhly vzorky s vyšším obsahem jemných částic (15 a 19 %) oproti vzorkům s nižším obsahem jemných částic (7,9 a 12 %).



Graf 4-2 Maximální suchá objemová hmotnost směsí

V tabulce 4-2 je provedeno vyjádření jednotlivých optimálních vlhkostí a maximálních suchých objemových hmotností zkoušených směsí.

Označení směsi	Směs	Frakce	$w_{OPT} [\%]$	ρ_{max}^3 [kg*m ³]
A	MZK	0/32	2,4	1 930
B	MZK	0/32	3,2	1 930
C	ŠD _A	0/32	2,8	1 940
D	MZK	0/32	2,0	1 970
E	ŠD _A	0/32	1,9	1 960

Tab. 4-2 Vyjádření optimální vlhkosti a maximální objemové hmotnosti směsí

Z obrázku 4-1 je patrný průběh Proctorovy modifikované zkoušky v laboratoři VUT FAST Brno.

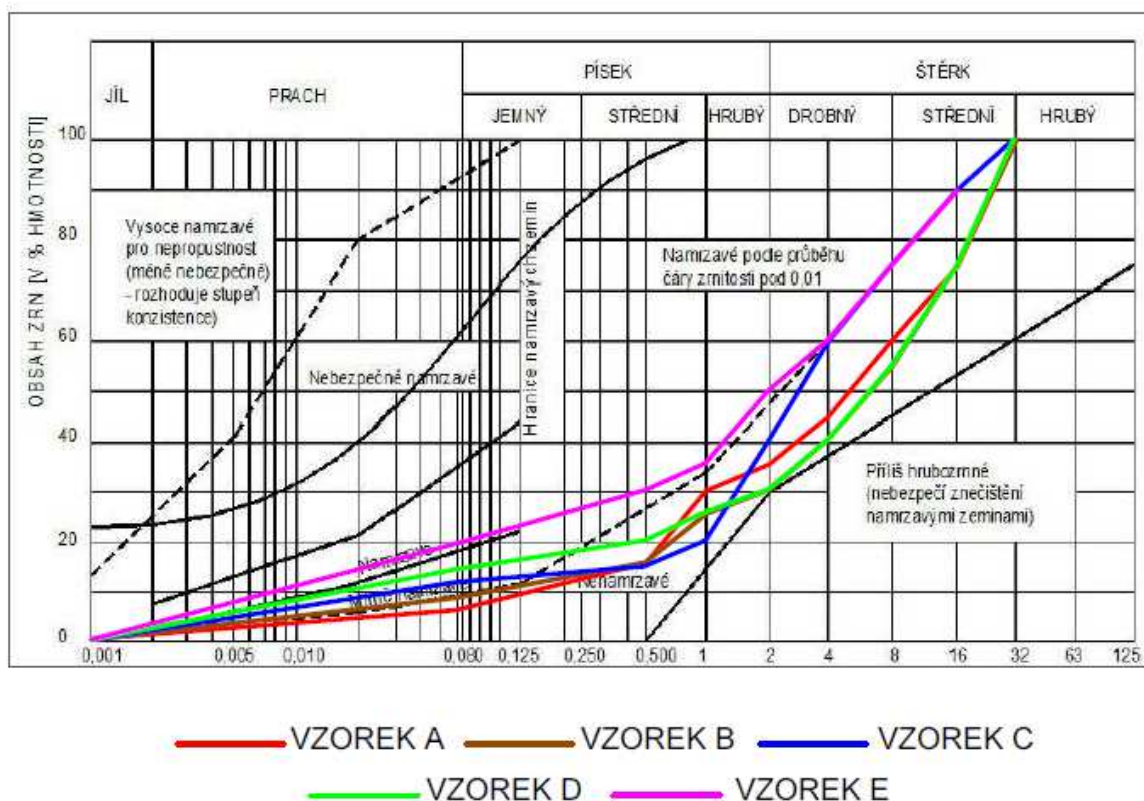


Obr. 4-1 Průběh Proctorovy modifikované zkoušky

4.3. STANOVENÍ NAMRZAVOSTI DLE SCHLEIBLEHO KRITÉRIA

Hodnocení dle Schleibleho kritéria je prováděno pro nestmelené směsi a v případě splnění požadavků dle čl. 2.1.1 tab. 2-4 by měla směs vyhovět jako nenamrzavá. To jsem si

ověřila vložení příslušných křivek zrnitosti do obr. 2-3 z článku 2.1.3 a výsledky srovnání jsou zřejmé z obrázku 4-2.



Obr. 4-2 Vložení křivek zrnitosti a jejich určení míry namrzavosti dle Schleibleho kritéria

Z obrázku 4-2 jsem poté určila míru namrzavosti jednotlivých směsí, ta je pak přehledně vyjádřena v tabulce 4-3.

Označení směsi	Obsah jemných částic [%]	Hodnocení dle Schleibleho křivky
A	7	nenamrzavé
B	9	nenamrzavé až mírně namrzavé
C	12	mírně namrzavé
D	15	mírně namrzavé až namrzavé
E	19	namrzavé

Tab. 4-3 Určení namrzavosti dle Schleibleho kritéria

Jednotlivé křivky zrnitosti směsí a jejich hodnocení dle Schleibleho kritéria jsou vyjádřeny v protokolech P11 až P15.

4.4. STANOVENÍ MÍRY NAMRZAVOSTI PŘÍMÝM MĚŘENÍM

Zkouška byla provedena na všech pěti vzorcích směsi kameniva a to dle normy ČSN 72 1191.

Příprava vzorků proběhla jako modifikovaná Proctorova zkouška s moždířem A dle ČSN EN13286-2, když po vytvoření válcových těles byla tato tělesa přemístěna do chladicí skříně a osazena do zkušebních buněk. Z obrázku 4-3 je patrné vyjímání vzorků z hutního zařízení a na obrázku 4-4 jsou zobrazeny již vyjmuté zkušební vzorky.



Obr. 4-3 Zhutněný vzorek dle modifikované Proctorovy zkoušky



Obr. 4-4 Zhutněné zkušební vzorky

Na následujícím obrázku jsou již patrné vzorky usazené do chladicí skříně s horní upravenou plochou vzorku jemnozrnným materiálem pro co nejlepší dosednutí chladicí desky.



Obr. 4-5 Vzorky usazené v chladicí skříně

Na obrázku 4-6 jsou již vzorky opatřeny chladicí deskou, závažím a snímačem zdvihu a jsou tudíž připraveny pro započetí zkoušky.



Obr. 4-6 Vzorky připravené k započetí zkoušky

Po minimální době 17 hodin, kdy se voda nasávala do vzorku při současném udržování konstantní teploty 4 až 8 °C, byla spuštěna mrazicí deska umístěná na povrchu vzorku vyvolující teplotu -4 ± 1 °C. Tento režim byl udržován po dobu 5 dní, tj. 120 hodin a v průběhu této doby je měřen časový průběh zdvihu v mm, který se zaznamenal do počítače.

Míra namrzavosti se poté stanoví ze vzorce 2-4 čl. 2.1.4, hodnoty jsou poté vyneseny do grafu a dle ČSN 72 1191 se míra namrzavosti vyhodnocuje pouze z lineární části závislosti zdvihu (h) na druhé odmocnině indexu mrazu ($\sqrt{I_m}$), označené jako β .

Pro účely této práce byly však zjištěny i hodnoty míry namrzavosti za celou dobu měření zdvihu (h) v závislosti na druhé odmocnině indexu mrazu ($\sqrt{I_m}$), označené jako β' a toto hodnocení míry namrzavosti jsem nazvala „upravenou“ metodou.

Výsledky jednotlivých vzorků jsou patrné z tabulky 4-4, kde je vidět že při zkoušce dle ČSN 72 1191 se vzorky s obsahem jemných částic 7, 9 a 12 % ukázaly jako mírně namrzavé až namrzavé a vzorky s obsahem jemných částic 15 a 19 % nebezpečně namrzavé.

Označení směsi	Obsah jemných částic [%]	β	β'
A	7	0,28	0,27
B	9	0,50	0,23
C	12	0,43	0,33
D	15	0,78	0,28
E	19	0,81	0,47

Kritérium míry namrzavosti dle ČSN 72 1191

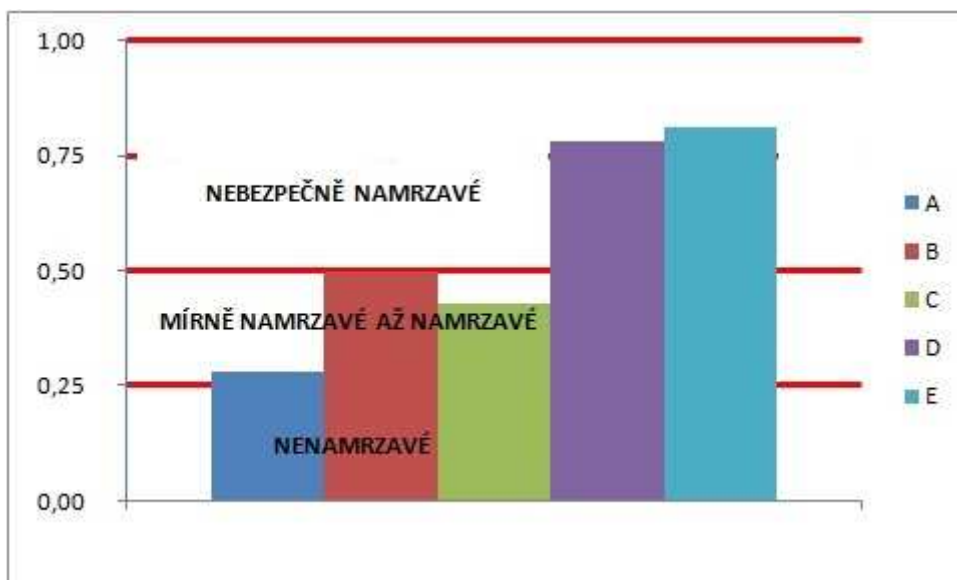
Míra namrzavosti zemin a materiálů	Průměrná hodnota β
Nenamrzavé	< 0,25
Mírně namrzavé a namrzavé	0,25 až 0,50
Nebezpečně namrzavé	> 0,50

Tab. 4-4 Určení míry namrzavosti přímým měřením

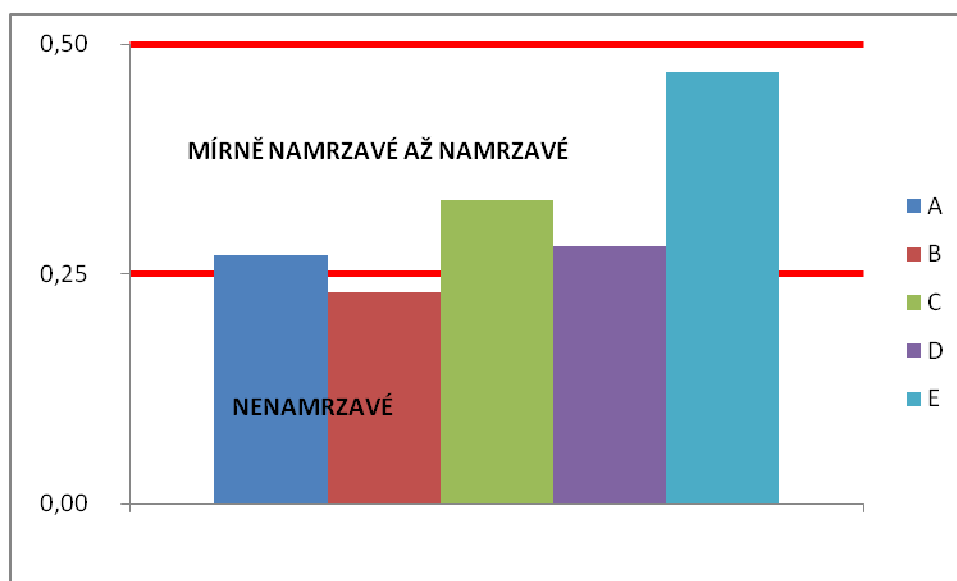
Při úpravě hodnocení zkoušky, kdy byly použity hodnoty za celou dobu měření zdvihu, došlo ke snížení míry namrzavosti a všechny vzorky se projeví jako mírně namrzavé až namrzavé, výjimkou byl vzorek B s obsahem jemných částic 9 %, jehož hodnota míry

namrzavosti se pohybovala v intervalu hodnoceném jako nenamrzavý. Tato výchylna mohla být způsobena například rozdílným mineralogickým složením směsi oproti ostatním vzorkům.

Grafické vyjádření výsledků míry namrzavosti je patrné z grafu 4-3 pro hodnotu β a grafu 4-4 pro hodnotu β' .



Graf 4-3 Grafické vyjádření míry namrzavosti směsí β



Graf 4-4 Grafické vyjádření upravené míry namrzavosti směsí β'

Po uplynutí doby 120 hodin, tedy 5 dní došlo k vypnutí chladicí desky a po krátké době, kdy došlo k odmraznutí jednotlivých vzorků, byly tyto vzorky vyjmuty z chladicí skříně a postupně byly rozebírány vodící kroužky.

Zkoušené směsi MZK a ŠD_A vzhledem k vyššímu obsahu hrubých zrn oproti zeminám, pro které je tato zkušební metoda určena, vykazovaly poměrně velkou rozpadavost a nepodařilo se mi zachytit vznik ledových čoček, které způsobují zdvih zkušebního tělesa.

Z obrázku 4-7 je patrné zkušební těleso po vyjmutí z chladicí skříně, kde došlo k tvorbě ledových čoček, avšak při sejmutí kroužků byla tato oblast porušena vzhledem k malé soudržnosti zkoušené směsi.

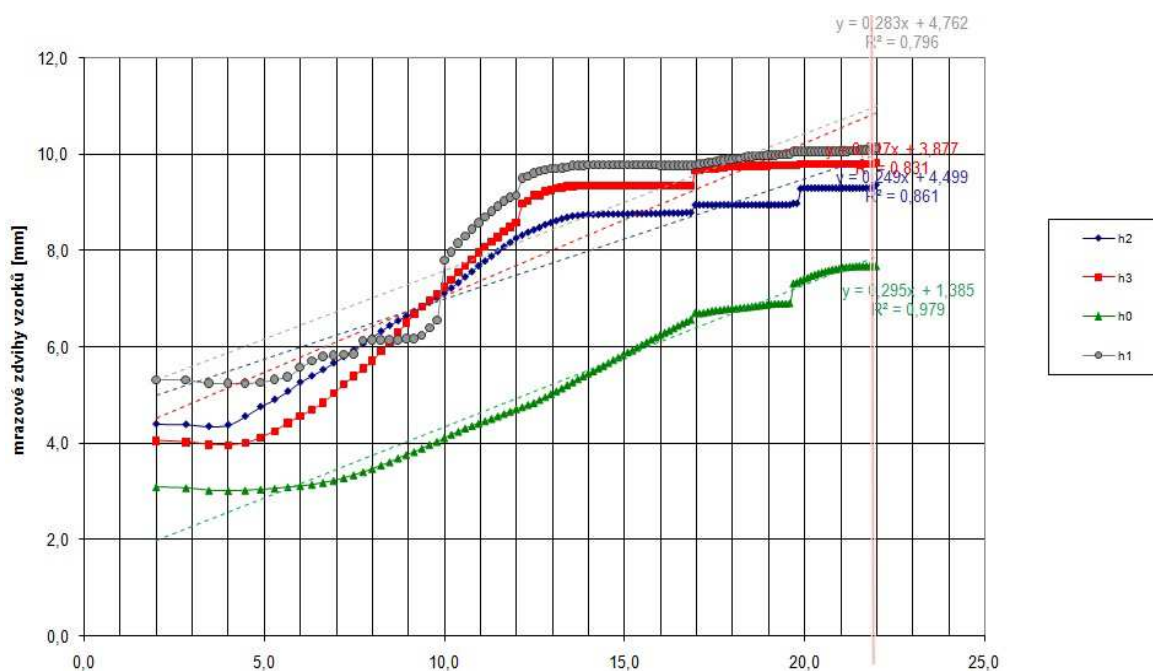


Obr. 4-7 Vzorek po vyjmutí z chladicí skříně

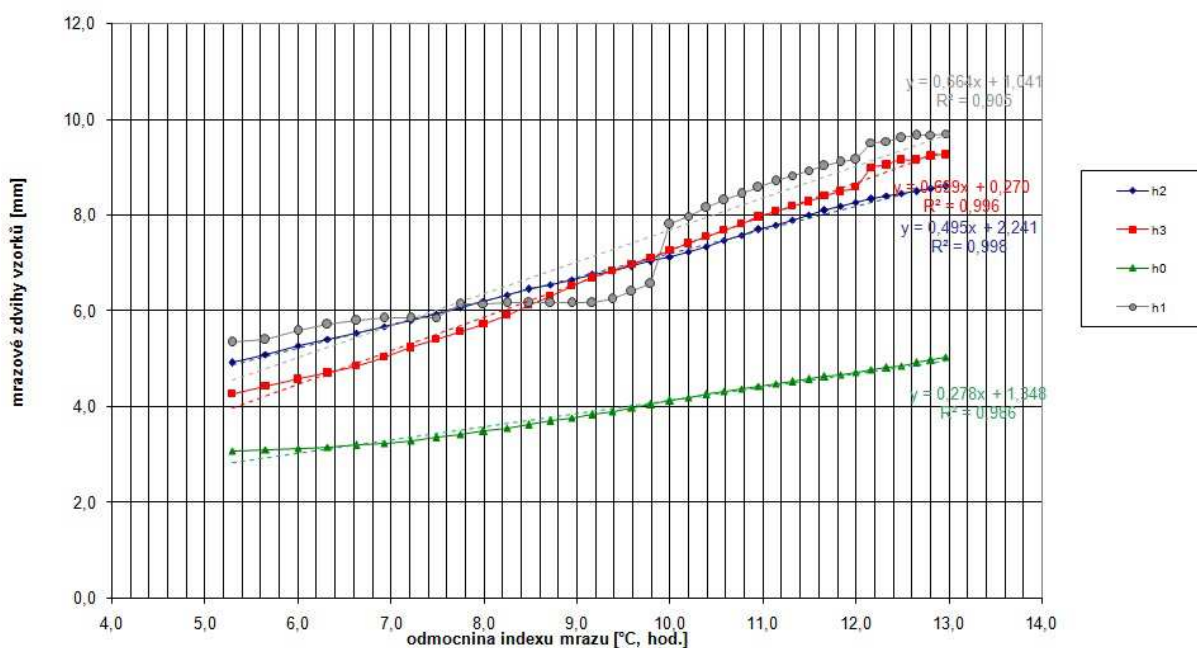
Příslušné protokoly ze zkoušek namrzavosti najdete v příloze P16 až P25, kde jsou vypracovány protokoly pro stanovení míry namrzavosti dle ČSN 72 1191 tedy hodnotu β , tak i pro stanovení míry namrzavosti „upravenou“ metodou výpočtu, tedy β' .

Na obrázku 4-8 je patrná křivka závislosti zdvihu h na druhé odmocnině indexu mrazu $\sqrt{I_m}$ za celý cyklus měření pro stanovení hodnoty β' a na obrázku 4-9, pak pouze lineární část této křivky, jak předepisuje norma ČSN 72 1191 pro stanovení hodnoty β . Pro ukázkou byla vybrána směs B, jejíž hodnoty β a β' jsou nejvíce rozdílné a současně je to směs s maximálním obsahem jemných částic pro použití do směsí MZK a ŠD_A.

Z obrázků je zřejmé, že směs vykazuje poměrně rychlé zmrznutí vody v pórech - úsek náběhové klínu od počátku měření. Lineární část je pak znázorněním doby, po kterou vzorek promrzá po celé svojí výšce. Když je vzorek po celé výšce zmrznutý, lineární nárůst se výrazně zastaví.



Obr. 4-8 Grafické vyhodnocení namrzavosti β' vzorku B



Obr. 4-9 Grafické vyhodnocení namrzavosti β vzorku B

4.5. SROVNÁNÍ PŘÍMÉ A NEPŘÍMÉ METODY

Vzhledem k tomu že nestmelené směsi vozovek pozemních komunikací nevyžadují přímé zkoušení míry namrzavosti, ale za splnění zrnitostních požadavků dle ČSN EN 13 285 se považují dle Schleibleho kritéria za nenamrzavé, bylo provedeno toto srovnání obou metod.

Z tabulky 4-5 je patrné porovnání hodnot přímé metody pro zjištění míry namrzavosti dle ČSN 72 1191, které jsou vyjádřeny jako β , dále dle „upravené“ metody vypočítané z hodnot v průběhu celého cyklu měření jako β' a hodnoty vyjádřené dle Schleibleho kritéria.

Označení směsi	Obsah jemných částic [%]	Směs	β	β'	Hodnocení dle Schleibleho kritéria
A	7	MZK	0,28	0,27	nenamrzavé
B	9	MZK	0,50	0,23	nenamrzavé až mírně namrzavé
C	12	ŠD _A	0,43	0,33	mírně namrzavé
D	15	MZK	0,78	0,28	mírně namrzavé až namrzavé
E	19	ŠD _A	0,81	0,47	namrzavé

Kritérium míry namrzavosti dle ČSN 72 1191

Míra namrzavosti zemin a materiálů	Průměrná hodnota β
Nenamrzavé	< 0,25
Mírně namrzavé a namrzavé	0,25 až 0,50
Nebezpečně namrzavé	> 0,50

Tab. 4-5 Srovnání zjištěných měř namrzavosti směsí

Jak je patrné z výše uvedené tabulky, hodnoty míry namrzavosti β' z „upravené“ zkoušky přímým měřením a posouzené dle Schleibleho kritéria, mají téměř shodné výsledky. Výjimkou je vzorek A, který je podle přímého měření mírně namrzavý až namrzavý (avšak při spodní hranici intervalu β pro zeminy mírně namrzavé a namrzavé) a podle Schleibleho kritéria nenamrzavý a u vzorku B je tomu naopak. Tato výchylka však vzhledem k obvyklému rozptylu výsledků zkoušky míry namrzavosti je nevýznamná (mohla být způsobena například rozdílným mineralogickým složením či povahou jemných částic a nemá vliv na výsledek). Je tu důležité, že se vzorky neukázaly jako nebezpečně namrzavé.

U porovnání přímé metody dle ČSN 72 1191 hodnot β se Schleibleho kritériem je zřejmé, že hodnocení přímou metodou vykazuje přísnější kritéria oproti Schleibleho hodnocení. Vzorky s obsahem jemných částic 7, 9 a 12 % jsou mírně namrzavé až namrzavé, vzorky s obsahem jemných částic 15 a 19 % jsou pak nebezpečně namrzavé, zatímco při hodnocení dle Schleibleho kritéria se pohybovali v rozmezích namrzavých vrstev.

Na základě srovnání lze tedy říci, že výpočet míry namrzavosti přímou metodou dle ČSN 72 1191, kde byla pro výpočet míry namrzavosti použita lineární část křivky

naměřených mrazových zdvihů v závislosti na druhé odmocnině indexu mrazu klade na směsi nejvyšší požadavky, oproti vyjádření výsledků za pomoci „upravené“ metody, kdy byly použity hodnoty z celého průběhu měření mrazových zdvihů v závislosti na druhé odmocnině indexu mrazu. Vyjádření výsledků „upravenou“ metodou je tedy dle výsledků srovnatelné s hodnocením dle Schleibleho kritéria.

4.6. CELKOVÉ ZHODNOCENÍ VZORKŮ

Ověřením citlivosti nestmelených směsí na vodu a mráz přímou metodou hodnocení namrzavosti podle ČSN 72 1191 byla, kromě jiného, ověřena hodnota maximálního množství jemných částic $f \leq 9\%$ v nestmelené směsi MZK a ŠD_A. Tento výsledek potvrzuje požadavek uváděný v ČSN EN 13 285 pro návrh nestmelené směsi do podkladních vrstev vozovek

Směs A se ukázala přímým měřením jako mírně namrzavá až namrzavá, směs B pak přímým měřením dle ČSN 72 1191 jako mírně namrzavá až namrzavá a „upravenou“ metodou jako nenamrzavá.

Pro dosažené výsledky je důležité, že se měřením neprokázalo, že by mohly být sledované nestmelené směsi nebezpečně namrzavé.

Směsi ŠD_A, kde je horní požadovaná hranice obsahu jemných částic ve směsi 9%, by v praxi měly být použity spíše s obsahem $f \max. 7\%$, tak aby bylo skutečně zajištěno, že nebudou nebezpečně namrzavé.

Směsi s obsahem jemných částic $f \max. 12\%$, které se používají např. jako ŠD_B do komunikací s nízkým dopravním zatížením nebo jako spodní podkladní vrstvy, se ukázaly jako mírně namrzavé až namrzavé a to u všech tří zkoušených způsobů vyhodnocení namrzavosti.

Domnívám se, že při provedení většího množství zkoušek namrzavosti tohoto druhu směsí s obsahem jemných částic (f) při horní povolené hranici by mohlo být prokázáno, že jsou nebezpečně namrzavé, a proto by tato horní požadovaná hranice maximálního objemu jemných částic, tedy 12% měla být snížena, např. na $f \max. 10\%$.

Směsi s vyšším obsahem jemných částic $f = 15$ a 19% už vycházely jako nebezpečně namrzavé u metody přímým měřením dle ČSN 72 1191. Pokud bychom stanovení namrzavosti přímou metodou zvolili a respektovali jako vhodnou pro nestmelené směsi pro podkladní vrstvy, je důležité si v praxi dát pozor na skutečné parametry zrnitosti nestmelených vrstev a dodržování předepsaných vlastností dodávaných směsí.

ZÁVĚR

V teoretické části méj diplomové práce jsem shrnula metody pro kontrolu míry namrzavosti v rámci členských států Evropské Unie, které jsou zároveň i členy evropské komise pro normalizaci CEN TC 227, WG4. Konkrétně se jedná o Švédsko, Norsko, Finsko, Dánsko, Německo, Rakousko, Belgie, Francii, Velkou Británii a Českou republiku. Podobné metody jako v České republice využívá i Norsko, Francie a Německo (metoda B). Principem této zkoušky je, že jsou vzorky jsou ponechány v saturaci po určitou dobu, a poté je při konstantní teplotě přistoupeno k jejich zmrazování.

Poněkud jiným směrem se vydali v Rakousku a Německu (metoda A), kde je povrch zkušební tělesa ochlazován tak, aby bylo uprostřed zkušební tělesa docíleno izotermie 0 °C. Teplota v průběhu zmrazování není konstantní a mění se podle potřeby. Rakousko pak zvolilo odlišný přístup i při hodnocení namrzavosti nepřímou metodou, kdy jsou vzorky posuzovány pomocí minerálního kritéria za pomoci aktivních a neaktivních minerálů v zemině (materiálu).

Metoda používaná ve Finsku je jedinečná v tom, že je v průběhu zkoušky měněna hodnota zatížení působící na těleso, přičemž jsou vzorky cyklicky zmrazovány a rozmrazovány, čímž jsou získány nejen hodnoty mrazového zdvihu, ale vzorek je vyhodnocen i z hlediska konsolidace v průběhu tání.

Ve Švédsku bylo vyvinuto nové zkušební zařízení, jehož pomocí má být dosaženo co nejpresnějších poznatků o vlivu vody na velikost mrazového zdvihu. Toto zařízení se skládá z teleskopického válce délky 580 mm a vzorky jsou odebírány in situ, nebo hutněné v laboratoři.

Hlavním úkolem praktické části této práce bylo prokázat, že nestmelené směsi zabudovávané do konstrukce vozovky pozemních komunikací v ČR by neměly být namrzavé při měření přímou metodou míry namrzavosti a mělo by být dostačující posouzení pro tyto směsi dle Schleibleho zrnitostního kritéria. Základem práce je tedy srovnání zrnitostního kritéria stanovení namrzavosti s přímou metodou měření mrazových zdvihů na zhutněných zkušebních válcových tělesech.

Přímým měřením míry namrzavosti, bylo zjištěno, že i směs s nejnižším obsahem jemných částic (f) zkoušených vzorků byla klasifikována jako mírně namrzavá až namrzavá.

Metoda přímým měřením, která je určena pro stanovení namrzavosti zemin, upravených zemin, recyklovaných materiálů a vedlejších produktů určených pro stavbu

zemního tělesa se ukázala jako velmi přísná v hodnocení namrzavosti (takto tvrdé podmínky se obvykle ve vozovce, při současných teplých zimách nevyskytují).

Používaná metoda hodnocení namrzavosti ze síťového rozboru dle Schleibleho kritéria, je výsledky srovnatelná s hodnocením „upravenou“ (viz. popis v textu práce) přímou metodou míry namrzavosti.

Nestmelené směsi však nejsou používány jen jako podkladní vrstvy, ale u komunikací s nízkým dopravním zatížením, jako například účelové komunikace jsou používány jako vrstvy krytové opatřené například asfaltovým nátěrem či jako vrstvy ložní pod jednovrstvými asfaltovými kryty. U takto používaných směsí hrozí zvýšené riziko jejich promrzání, protože jsou buďto vystaveny mrazu přímo, či jsou chráněny jen tenkou horní vrstvou.

Z tohoto důvodu je nutné dbát zvýšené opatrnosti při volbě použitého materiálu a v žádném případě nevolit směsi s maximálním povoleným obsahem jemných částic ani ty s obsahem jemných částic při maximální povolené horní hranici, ale spíše se zaměřit na použití směsí s menším obsahem jemných částic propadu pod 0,063 mm.

U nestmelených směsí vlivem velikosti pórů v závislosti na ploše namáhání mrazem, je možné předpokládat větší razance objemových změn vzniklých vlivem tvorby ledových čoček ve výraznějších pórech oproti např. jílovito-hlinitým materiálům, kde je velikost pórů rozměrově menší.

Na základě výsledků měření nelze s jistotou říci, zda by měl být zaveden požadavek pro přímé měření míry namrzavosti do norem pro nestmelené směsi. Pro objektivnější posouzení by bylo třeba provést další porovnávací zkoušky ve větším rozsahu, toto však nelze postihnout v rámci jedné diplomové práce.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1-1 Použití dodavatelem deklarované hodnoty [4]	12
Obr. 1-2 Příklad rozdílu v požadavcích na zrnitost směsi ŠD a MZK [1]	13
Obr. 2-1 Princip Proctorova moždíře [5]	23
Obr. 2-2 Princip pěchu a vodící tyče [5]	24
Obr. 2-3 Kritérium namrzavosti podle zrnitosti zeminy [7]	27
Obr. 2-4 Příklad uspořádání chladicí skříně [8]	29
Obr. 2-5 Zkušební buňka [8]	29
Obr. 2-6 Příklad grafického vyjádření vzorku [8]	31
Obr. 2-7 Zkušební zařízení užívané ve Švédsku [9]	33
Obr. 2-8 Měřicí zařízení používané ve Finsku [9]	36
Obr. 2-9 Měřicí zařízení užívané v Německu [9]	38
Obr. 2-10 Měřicí zařízení užívané ve Francii [9]	42
Obr. 3-1 Křivka zrnitosti vzorku A	44
Obr. 3-2 Foto vzorku A	45
Obr. 3-3 Křivka zrnitosti vzorku B	45
Obr. 3-4 Foto vzorku B	46
Obr. 3-5 Křivka zrnitosti vzorku C	46
Obr. 3-6 Foto vzorku C	47
Obr. 3-7 Křivka zrnitosti vzorku D	47
Obr. 3-8 Foto vzorku D	48
Obr. 3-9 Křivka zrnitosti vzorku E	48
Obr. 3-10 Foto vzorku E	49
Obr. 3-11 Souhrnná křivka zrnitosti	49
Obr. 4-1 Průběh Proctorovy modifikované zkoušky	52
Obr. 4-2 Vložení křivek zrnitosti a jejich určení míry namrzavosti dle Schleibleho kritéria ..	53
Obr. 4-3 Zhutněný vzorek dle modifikované Proctorovy zkoušky	54
Obr. 4-4 Zhutněné zkušební vzorky	54
Obr. 4-5 Vzorky usazené v chladicí skříně	55
Obr. 4-6 Vzorky připravené k započetí zkoušky	55
Obr. 4-7 Vzorek po vyjmutí z chladicí skříně	58
Obr. 4-8 Grafické vyhodnocení namrzavosti β' vzorku B	59
Obr. 4-9 Grafické vyhodnocení namrzavosti β vzorku B	59

SEZNAM GRAFŮ

Graf 2-1 Model pro posouzení namrzavosti dle ÖNORM B 4810 [9].....	39
Graf 2-2 Třídy namrzavosti ve Francii [9]	42
Graf 4-1 Optimální vlhkost směsí	51
Graf 4-2 Maximální suchá objemová hmotnost směsí	51
Graf 4-3 Grafické vyjádření míry namrzavosti směsí β	57
Graf 4-4 Grafické vyjádření upravené míry namrzavosti směsí β'	57

SEZNAM VZORCŮ

Vzorec 1-1 Infiltrační kritérium a.....	15
Vzorec 1-2 Infiltrační kritérium b.....	15
Vzorec 2-1 Stanovení vlhkosti dle ČSN EN 1097-5.....	26
Vzorec 2-2 Stanovení objemové hmotnosti vlhké směsi.....	26
Vzorec 2-3 Stanovení objemové hmotnosti suché směsi.....	27
Vzorec 2-4 Vyhodnocení míry namrzavosti.....	30
Vzorec 2-5 Největší mrazový zdvih.....	39
Vzorec 2-6 Možný mrazový zdvih.....	39
Vzorec 2-7 Směrodatná rychlost tvorby mrazových zdvihů.....	39

SEZNAM TABULEK

Tab. 1-1 Užití nestmelených směsí v konstrukci vozovky [2]	14
Tab. 1-2 Minimální četnost zkoušek pro všeobecné vlastnosti kameniva [3]	16
Tab. 1-3 Minimální četnost zkoušek pro nestmelené směsi [4]	17
Tab. 1-4 Kontrolní zkoušky stavebních materiálů a směsí [2]	17
Tab. 1-5 Kontrolní zkoušky hotové vrstvy [2]	18
Tab. 1-6 Minimální moduly přetvárnosti podloží a nestmelené vrstvy [2]	18
Tab. 2-1 Všeobecné požadavky na zrnitost [4]	19
Tab. 2-2 Maximální obsah jemných částic [4]	20
Tab. 2-3 Síta pro určení zrnitosti [4]	20
Tab. 2-4 Požadavky pro příslušné typy směsí [4]	21
Tab. 2-5 Přehled standardní Proctorovy zkoušky a modifikované Proctorovy zkoušky [5]....	22
Tab. 2-6 Hlavní požadavky na nové pěchy [5]	24
Tab. 2-7 Rozměry ocelové desky [5]	25
Tab. 2-8 Kritérium míry namrzavosti [8]	32
Tab. 2-9 Zjednodušená klasifikace zemin dle namrzavosti [9]	37
Tab. 2-10 Mezní hodnoty minerálního kritéria dle normy ÖNORM B 4810 [9]	40
Tab. 3-1 Soupis vzorků	44
Tab. 3-2 Zrnitostní rozbor vzorku A	44
Tab. 3-3 Zrnitostní rozbor vzorku B	45
Tab. 3-4 Zrnitostní rozbor vzorku C	46
Tab. 3-5 Zrnitostní rozbor vzorku D	47
Tab. 3-6 Zrnitostní rozbor vzorku E	48
Tab. 4-1 Seznam vzorků	50
Tab. 4-2 Vyjádření optimální vlhkosti a maximální objemové hmotnosti směsí	52
Tab. 4-3 Určení namrzavosti dle Schleibleho kritéria	53
Tab. 4-4 Určení míry namrzavosti přímým měřením	56
Tab. 4-5 Srovnání zjištěných měř namrzavosti směsí	60

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

CEN	Evropská komise pro normalizaci
CBR	Kalifornský poměr únosnosti
ČSN	Česká technická norma
DIN	Německá národní technická norma
EN	Evropská norma
EU	Evropská unie
FAST	Fakulta stavební
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
MZ	Mechanicky zpevněná zemina
MZK	Mechanicky zpevněné kamenivo
MZKO	Mechanicky zpevněné kamenivo otevřené
NF P	Francouzská technická norma
ÖNORM	Rakouská národní technická norma
PVC	Polyvinylchlorid
ŠD	Štěrkodrt'
ŠD _A	Štěrkodrt' kvality A
ŠD _B	Štěrkodrt' kvality B
ŠP	Štěrkopísek
ŠP _A	Štěrkopísek kvality A
ŠP _B	Štěrkopísek kvality B
TC	Technická komise
viz.	Lze vidět
VŠ	Vibrovaný štěrk
VUT	Vysoké učení technické
WG	Pracovní skupina

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ZAJÍČEK, Jan a kolektiv. *Technologie stavby vozovek. 1. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2014. ISBN 978-80-87438-59-6.*
- [2] ČSN 73 6126-1. *Stavby vozovek - Nestmelené vrstvy - Část 1: Provádění a kontrola shody. Praha: ÚNMZ, 2006*
- [3] ČSN EN 13 242. *Kamenivo pro nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy pro inženýrské stavby a pozemní komunikace. Praha: ÚNMZ, 2008*
- [4] ČSN EN 13 285. *Nestmelené směsi - Specifikace. Praha: ÚNMZ, 2011*
- [5] ČSN EN 13 286-2. *Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 2: Zkušební metody pro stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti - Proctorova zkouška. Praha: ÚNMZ, 2006*
- [6] ČSN EN 1097-5. *Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva - Část 5: Stanovení vlhkosti sušením v sušárně. Praha: ÚNMZ, 2008*
- [7] ČSN 73 6133. *Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací. Praha: ÚNMZ, 2010*
- [8] ČSN 72 1191. *Zkoušení míry namrzavosti zemin. Praha: ÚNMZ, 2013*
- [9] JUCHELKOVÁ, Lenka. *Namrzavost zemina a materiálů v aktivní zóně násypů pozemních komunikací. Bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací, 2012*
- [10] ZAJÍČEK, Jan. *Zpráva o činnosti TC 227 / WG 4 za rok 2015 [online]. CEN TC 227, WG4, TG 5: Frost susceptibility, 26. a 27.2.2015: Duisburg, Německo, 3 s. Dostupné z: <http://www.pragoprojekt.cz/normy-banner>*
- [11] HERMASSON, Ake. *Modeling of frost heave and surface temperatures in roads, doctoral thesis, Department of Civil and Mining Engineering, Division of soil mechanics and foundation engineering, Linköping, Sweden, 2002, ISSN: 1402-1544*

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P1	Požadavky na nestmelené směsi - zrnitost: vzorek A
Příloha P2	Požadavky na nestmelené směsi - zrnitost: vzorek B
Příloha P3	Požadavky na nestmelené směsi - zrnitost: vzorek C
Příloha P4	Požadavky na nestmelené směsi - zrnitost: vzorek D
Příloha P5	Požadavky na nestmelené směsi - zrnitost: vzorek E
Příloha P6	Zkušební metody pro stanovení laboratorní objemové hmotnosti a vlhkosti: vzorek A
Příloha P7	Zkušební metody pro stanovení laboratorní objemové hmotnosti a vlhkosti: vzorek B
Příloha P8	Zkušební metody pro stanovení laboratorní objemové hmotnosti a vlhkosti: vzorek C
Příloha P9	Zkušební metody pro stanovení laboratorní objemové hmotnosti a vlhkosti: vzorek D
Příloha P10	Zkušební metody pro stanovení laboratorní objemové hmotnosti a vlhkosti: vzorek E
Příloha P11	Vyhodnocení vzorků na základě zrnitosti dle Schleibleho kritéria: vzorek A
Příloha P12	Vyhodnocení vzorků na základě zrnitosti dle Schleibleho kritéria: vzorek B
Příloha P13	Vyhodnocení vzorků na základě zrnitosti dle Schleibleho kritéria: vzorek C
Příloha P14	Vyhodnocení vzorků na základě zrnitosti dle Schleibleho kritéria: vzorek D
Příloha P15	Vyhodnocení vzorků na základě zrnitosti dle Schleibleho kritéria: vzorek E
Příloha P16	Vyhodnocení míry namrzavosti vzorků dle ČSN 72 1191: vzorek A
Příloha P17	Vyhodnocení míry namrzavosti vzorků dle ČSN 72 1191: vzorek B
Příloha P18	Vyhodnocení míry namrzavosti vzorků dle ČSN 72 1191: vzorek C
Příloha P19	Vyhodnocení míry namrzavosti vzorků dle ČSN 72 1191: vzorek D
Příloha P20	Vyhodnocení míry namrzavosti vzorků dle ČSN 72 1191: vzorek E
Příloha P21	Vyhodnocení míry namrzavosti vzorků „upravenou metodou“: vzorek A
Příloha P22	Vyhodnocení míry namrzavosti vzorků „upravenou metodou“: vzorek B
Příloha P23	Vyhodnocení míry namrzavosti vzorků „upravenou metodou“: vzorek C
Příloha P24	Vyhodnocení míry namrzavosti vzorků „upravenou metodou“: vzorek D
Příloha P25	Vyhodnocení míry namrzavosti vzorků „upravenou metodou“: vzorek E

LABORATOŘ VUT FAST BRNO
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ
VEVEŘÍ 331/95, 602 00 BRNO

ÚNOR 2014
VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. DUŠAN STEHLÍK, Ph.D.
VYPRACOVALA: Bc. KATEŘINA SURÁ

POŽADAVKY NA NESTMELENÉ SMĚSI - ZRNITOST -

ČSN EN 13 285 - TABULKA 5 - SÍTA PRO URČENÍ ZRNITOST

OZNAČENÍ SMĚSI	SÍTO A	SÍTO B	SÍTO C	SÍTO E	SÍTO F	SÍTO G
0/31,5	16	8	4	2	1	0,5

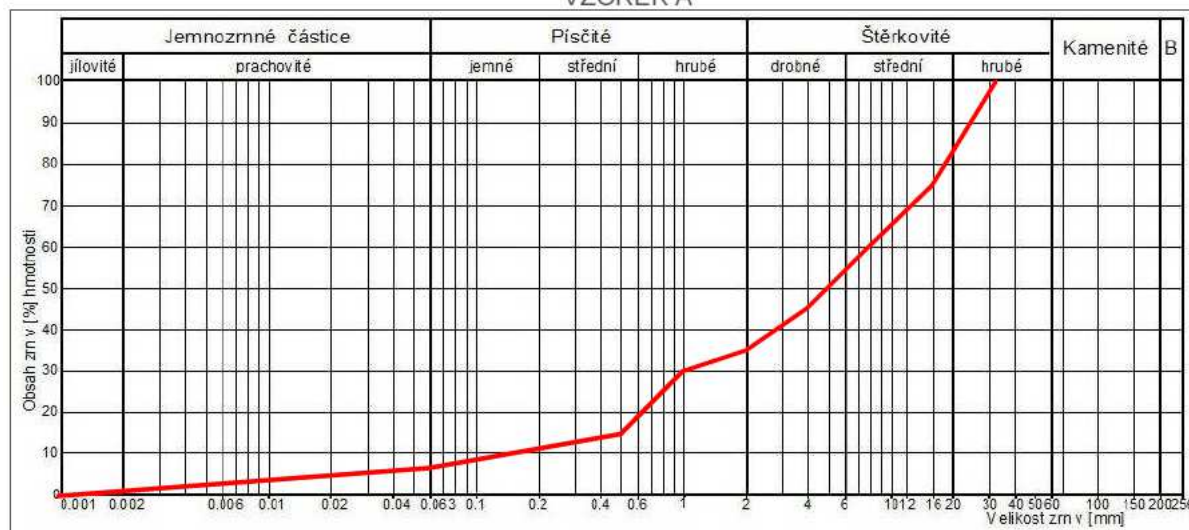
ČSN EN 13 285 - TABULKA 6 - VŠEOBECNÉ POŽADAVKY NA ZRNITOST

Interval zrnitosti	Propad v procentech hmotnosti						Kategorie	Odpovídá směsi
	SÍTO A	SÍTO B	SÍTO C	SÍTO E	SÍTO F	SÍTO G		
Normálně zrněné směsi								
Všeobecný	55-85	35-65	22-50	15-40	10-35	0-20	G _A	MZK
Dodav. dek. hodnota	63-77	43-57	30-42	22-33	15-30	42125		
Všeobecný	50-90	30-75	20-60	13-45	8-35	5-25	G _C	
Dodav. dek. hodnota	61-79	41-64	31-49	22-36	13-30	10-20		
Ostatní směsi								
Všeobecný	50-90	30-75	15-60	Bez. pož.	0-35	Bez. pož.	G _E	ŠD _A
Dodav. dek. hodnota	Bez požadavků							

Směs A

Propad v procentech hmotnosti							Kategorie	Směs	Označení frakce
Síto A	Síto B	Síto C	Síto E	Síto F	Síto G	≤ 0,063mm			
75	60	45	35	30	15	7	G _C	MZK	0/32

KŘIVKA ZRNITOSTI NESTMELENÉ PODKLADNÍ VRSTVY VZOREK A



LABORATOŘ VUT FAST BRNO
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ
VEVEŘÍ 331/95, 602 00 BRNO

ÚNOR 2014
VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. DUŠAN STEHLÍK, Ph.D.
VYPRACOVALA: Bc. KATEŘINA SURÁ

POŽADAVKY NA NESTMELENÉ SMĚSI - ZRNITOST -

ČSN EN 13 285 - TABULKA 5 - SÍTA PRO URČENÍ ZRNITOST

OZNAČENÍ SMĚSI	SÍTO A	SÍTO B	SÍTO C	SÍTO E	SÍTO F	SÍTO G
0/31,5	16	8	4	2	1	0,5

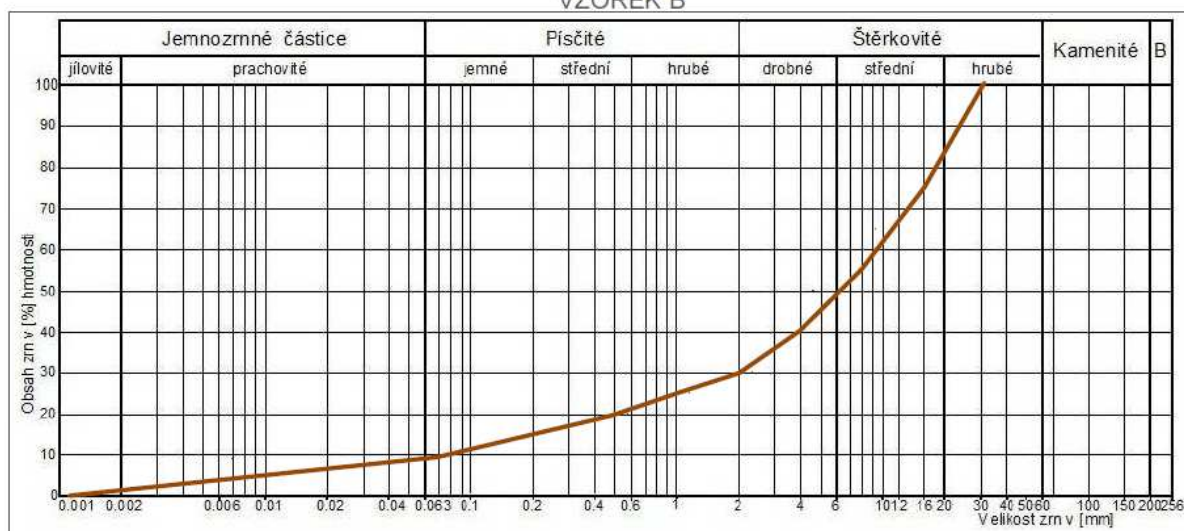
ČSN EN 13 285 - TABULKA 6 - VŠEOBECNÉ POŽADAVKY NA ZRNITOST

Interval zrnitosti	Propad v procentech hmotnosti						Kategorie	Odpovídá směsi
	SÍTO A	SÍTO B	SÍTO C	SÍTO E	SÍTO F	SÍTO G		
Normálně zrněné směsi								
Všeobecný	55-85	35-65	22-50	15-40	10-35	0-20	G _A	MZK
Dodav. dek. hodnota	63-77	43-57	30-42	22-33	15-30	42125		
Všeobecný	50-90	30-75	20-60	13-45	8-35	5-25	G _C	
Dodav. dek. hodnota	61-79	41-64	31-49	22-36	13-30	10-20		
Ostatní směsi								
Všeobecný	50-90	30-75	15-60	Bez. pož.	0-35	Bez. pož.	G _E	ŠD _A
Dodav. dek. hodnota	Bez požadavků							

Směs B

Propad v procentech hmotnosti							Kategorie	Směs	Označení frakce
Síto A	Síto B	Síto C	Síto E	Síto F	Síto G	≤ 0,063mm			
75	55	40	30	25	15	9	G _A	MZK	0/32

KŘIVKA ZRNITOSTI NESTMELENÉ PODKLADNÍ VRSTVY VZOREK B



LABORATOŘ VUT FAST BRNO
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ
VEVEŘÍ 331/95, 602 00 BRNO

ÚNOR 2014
VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. DUŠAN STEHLÍK, Ph.D.
VYPRACOVALA: Bc. KATEŘINA SURÁ

POŽADAVKY NA NESTMELENÉ SMĚSI - ZRNITOST -

ČSN EN 13 285 - TABULKA 5 - SÍTA PRO URČENÍ ZRNITOST

OZNAČENÍ SMĚSI	SÍTO A	SÍTO B	SÍTO C	SÍTO E	SÍTO F	SÍTO G
0/31,5	16	8	4	2	1	0,5

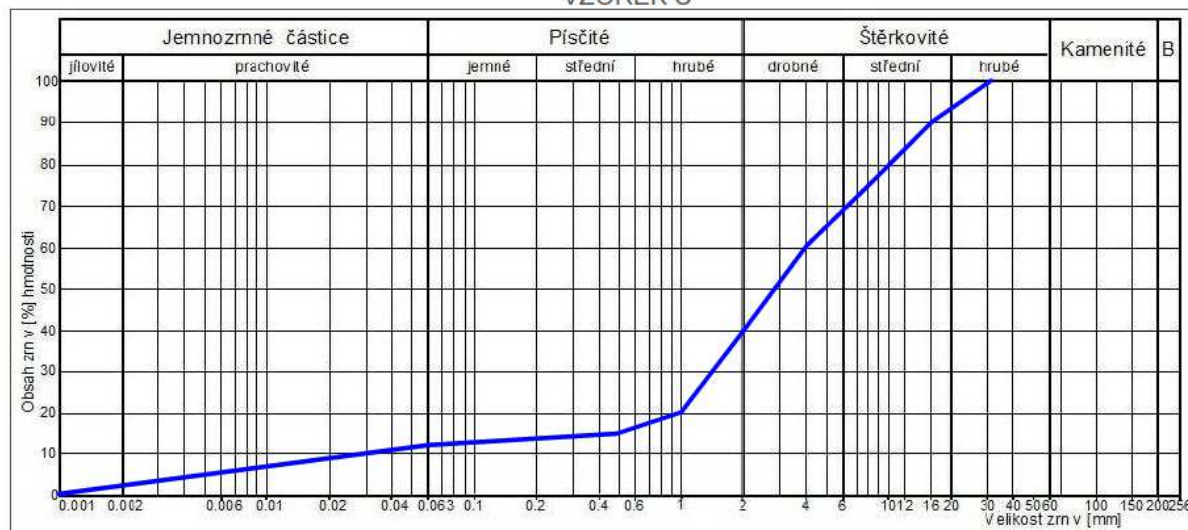
ČSN EN 13 285 - TABULKA 6 - VŠEOBECNÉ POŽADAVKY NA ZRNITOST

Interval zrnitosti	Propad v procentech hmotnosti						Kategorie	Odpovídá směsi
	SÍTO A	SÍTO B	SÍTO C	SÍTO E	SÍTO F	SÍTO G		
Normálně zrněné směsi								
Všeobecný	55-85	35-65	22-50	15-40	10-35	0-20	G _A	MZK
Dodav. dek. hodnota	63-77	43-57	30-42	22-33	15-30	42125		
Všeobecný	50-90	30-75	20-60	13-45	8-35	5-25	G _C	
Dodav. dek. hodnota	61-79	41-64	31-49	22-36	13-30	10-20		
Ostatní směsi								
Všeobecný	50-90	30-75	15-60	Bez. pož.	0-35	Bez. pož.	G _E	ŠD _A
Dodav. dek. hodnota	Bez požadavků							

Směs C

Propad v procentech hmotnosti							Kategorie	Směs	Označení frakce
Síto A	Síto B	Síto C	Síto E	Síto F	Síto G	≤ 0,063mm			
90	75	60	40	20	15	12	G _E	ŠD _A	0/32

KŘIVKA ZRNITOSTI NESTMELENÉ PODKLADNÍ VRSTVY VZOREK C



LABORATOŘ VUT FAST BRNO
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ
VEVEŘÍ 331/95, 602 00 BRNO

ÚNOR 2014
VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. DUŠAN STEHLÍK, Ph.D.
VYPRACOVALA: Bc. KATEŘINA SURÁ

POŽADAVKY NA NESTMELENÉ SMĚSI - ZRNITOST -

ČSN EN 13 285 - TABULKA 5 - SÍTA PRO URČENÍ ZRNITOST

OZNAČENÍ SMĚSI	SÍTO A	SÍTO B	SÍTO C	SÍTO E	SÍTO F	SÍTO G
0/31,5	16	8	4	2	1	0,5

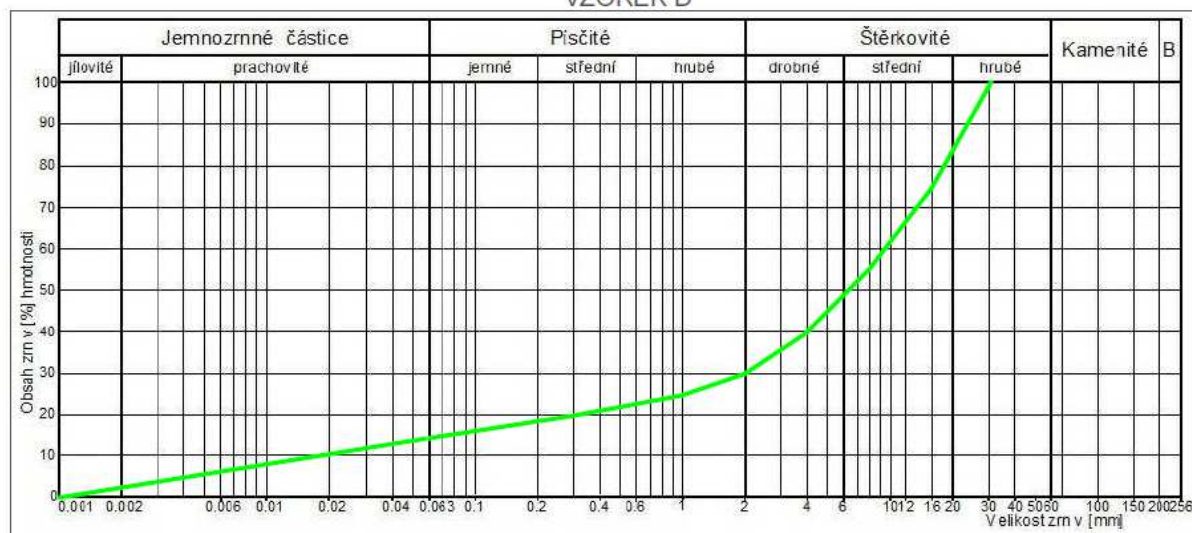
ČSN EN 13 285 - TABULKA 6 - VŠEOBECNÉ POŽADAVKY NA ZRNITOST

Interval zrnitosti	Propad v procentech hmotnosti						Kategorie	Odpovídá směsi
	SÍTO A	SÍTO B	SÍTO C	SÍTO E	SÍTO F	SÍTO G		
Normálně zrněné směsi								
Všeobecný	55-85	35-65	22-50	15-40	10-35	0-20	G _A	MZK
Dodav. dek. hodnota	63-77	43-57	30-42	22-33	15-30	42125		
Všeobecný	50-90	30-75	20-60	13-45	8-35	5-25	G _C	
Dodav. dek. hodnota	61-79	41-64	31-49	22-36	13-30	10-20		
Ostatní směsi								
Všeobecný	50-90	30-75	15-60	Bez. pož.	0-35	Bez. pož.	G _E	ŠD _A
Dodav. dek. hodnota	Bez požadavků							

Směs D

Propad v procentech hmotnosti							Kategorie	Směs	Označení frakce
Síto A	Síto B	Síto C	Síto E	Síto F	Síto G	≤ 0,063mm			
75	55	40	30	25	20	15	G _A	MZK	0/32

KŘIVKA ZRNITOSTI NESTMELENÉ PODKLADNÍ VRSTVY VZOREK D



LABORATOŘ VUT FAST BRNO
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ
VEVEŘÍ 331/95, 602 00 BRNO

ÚNOR 2014
VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. DUŠAN STEHLÍK, Ph.D.
VYPRACOVALA: Bc. KATEŘINA SURÁ

POŽADAVKY NA NESTMELENÉ SMĚSI - ZRNITOST -

ČSN EN 13 285 - TABULKA 5 - SÍTA PRO URČENÍ ZRNITOST

OZNAČENÍ SMĚSI	SÍTO A	SÍTO B	SÍTO C	SÍTO E	SÍTO F	SÍTO G
0/31,5	16	8	4	2	1	0,5

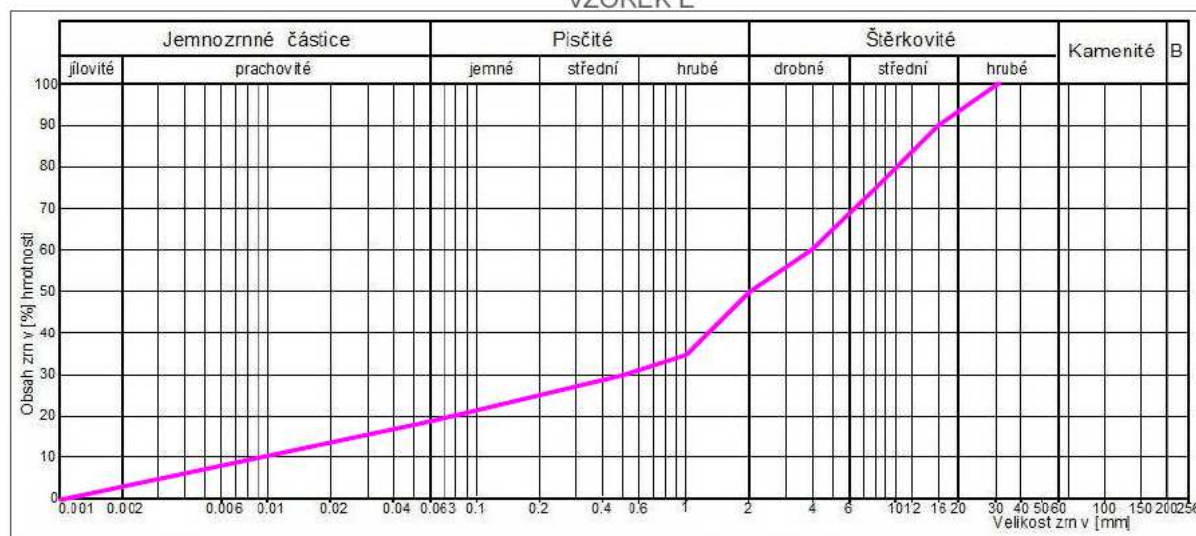
ČSN EN 13 285 - TABULKA 6 - VŠEOBECNÉ POŽADAVKY NA ZRNITOST

Interval zrnitosti	Propad v procentech hmotnosti						Kategorie	Odpovídá směsi
	SÍTO A	SÍTO B	SÍTO C	SÍTO E	SÍTO F	SÍTO G		
Normálně zrněné směsi								
Všeobecný	55-85	35-65	22-50	15-40	10-35	0-20	G _A	MZK
Dodav. dek. hodnota	63-77	43-57	30-42	22-33	15-30	42125		
Všeobecný	50-90	30-75	20-60	13-45	8-35	5-25	G _C	
Dodav. dek. hodnota	61-79	41-64	31-49	22-36	13-30	10-20		
Ostatní směsi								
Všeobecný	50-90	30-75	15-60	Bez. pož.	0-35	Bez. pož.	G _E	ŠD _A
Dodav. dek. hodnota	Bez požadavků							

Směs D

Propad v procentech hmotnosti							Kategorie	Směs	Označení frakce
Síto A	Síto B	Síto C	Síto E	Síto F	Síto G	≤ 0,063mm			
75	55	40	30	25	20	15	G _A	MZK	0/32

KŘIVKA ZRNITOSTI NESTMELENÉ PODKLADNÍ VRSTVY VZOREK E



LABORATOŘ VUT FAST BRNO
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ
VEVEŘÍ 331/95, 602 00 BRNO

ÚNOR 2015
VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. DUŠAN STEHLÍK, Ph.D.
VYPRACOVALA: Bc. KATEŘINA SURÁ

ZKUŠEBNÍ METODY PRO STANOVENÍ LABORATORNÍ
SROVNÁVACÍ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI A VLHKOSTI
ČSN EN 13 286-2 PROCTOROVA ZKOUŠKA

POUŽITÁ ZKUŠEBNÍ METODA: MODIFIKOVANÁ PROCTOROVA ZKOUŠKA

PROCTORŮV MOŽDÍŘ: A

HMOTNOST PĚCHU: 4,5 kg

PRŮMĚR PĚCHU: 50 mm

VÝŠKA DOPADU: 457 mm

POČET VRSTEV: 5

POČET ÚDERŮ NA VRSTVU: 25

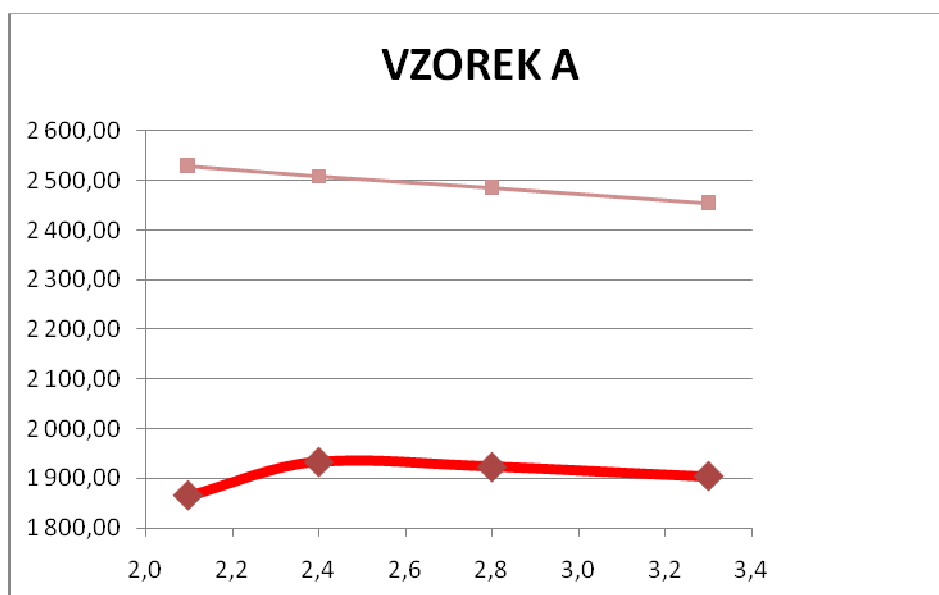
MNOŽSTVÍ ČÁSTIC ZACHYCENÝCH NA SÍTĚ 16mm: 25 %

Vzorek	V [cm ³]	m ₁ [g]	m ₂ [g]	w [%]	ρ [kg*m ⁻³]	ρ _d [kg*m ⁻³]
A1	1 139,0	6 517,0	8 687,0	2,1	1 905,2	1 866,0
A2	1 139,0	6 517,0	8 772,0	2,4	1 979,8	1 933,4
A3	1 139,0	6 517,0	8 769,0	2,8	1 977,2	1 923,3
A4	1 139,0	6 517,0	8 757,0	3,3	1 966,6	1 903,8

V objem moždíře
m₁ hmotnost moždíře a základní desky
w vlhkost směsi
m₂ hmotnost moždíře, základní desky a zhuštěné směsi
ρ objemová hmotnost zhuštěné vlhké směsi
ρ_d objemová hmotnost zhuštěné suché směsi

w_{OPT} = 2,4%

ρ_{dmax} = 1 930 kg*m³



LABORATOŘ VUT FAST BRNO
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ
VEVEŘÍ 331/95, 602 00 BRNO

ÚNOR 2015
VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. DUŠAN STEHLÍK, Ph.D.
VYPRACOVALA: Bc. KATEŘINA SURÁ

ZKUŠEBNÍ METODY PRO STANOVENÍ LABORATORNÍ
SROVNÁVACÍ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI A VLHKOSTI
ČSN EN 13 286-2 PROCTOROVA ZKOUŠKA

POUŽITÁ ZKUŠEBNÍ METODA: MODIFIKOVANÁ PROCTOROVA ZKOUŠKA

PROCTORŮV MOŽDÍŘ: A

HMOTNOST PĚCHU: 4,5 kg

PRŮMĚR PĚCHU: 50 mm

VÝŠKA DOPADU: 457 mm

POČET VRSTEV: 5

POČET ÚDERŮ NA VRSTVU: 25

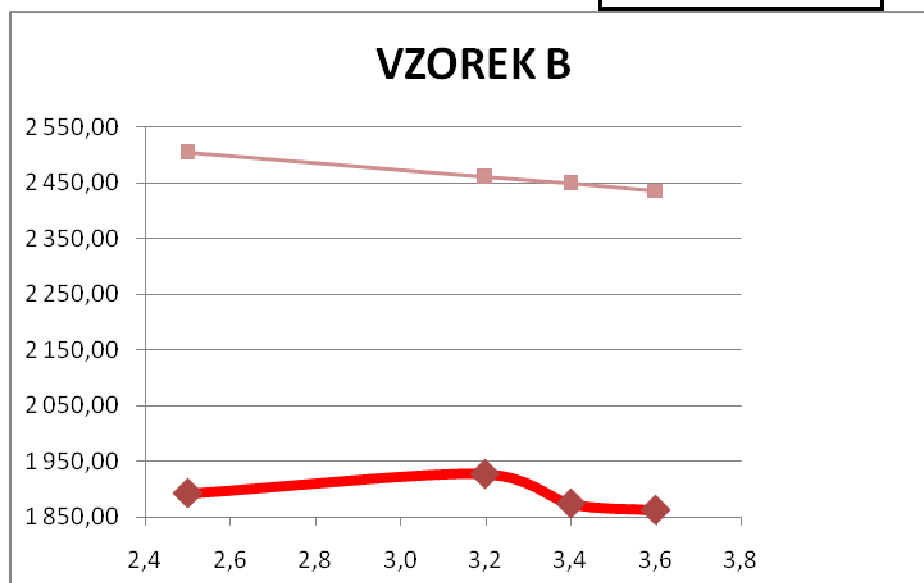
MNOŽSTVÍ ČÁSTIC ZACHYCENÝCH NA SÍTĚ 16mm: 25 %

Vzorek	V [cm ³]	m ₁ [g]	m ₂ [g]	w [%]	ρ [kg*m ⁻³]	ρ _d [kg*m ⁻³]
B1	1 139,0	6 517,0	8 726,0	2,5	1 936,4	1 892,1
B2	1 139,0	6 517,0	8 782,0	3,2	1 988,6	1 926,9
B3	1 139,0	6 517,0	8 724,0	3,4	1 937,7	1 874,0
B4	1 139,0	6 517,0	8 715,0	3,6	1 929,8	1 826,7

V objem moždíře
m₁ hmotnost moždíře a základní desky
w vlhkost směsi
m₂ hmotnost moždíře, základní desky a zhuštěné směsi
ρ objemová hmotnost zhuštěné vlhké směsi
ρ_d objemová hmotnost zhuštěné suché směsi

w_{OPT} = 3,2%

ρ_{dmax} = 1 930 kg*m³



LABORATOŘ VUT FAST BRNO
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ
VEVEŘÍ 331/95, 602 00 BRNO

ÚNOR 2015
VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. DUŠAN STEHLÍK, Ph.D.
VYPRACOVALA: Bc. KATEŘINA SURÁ

ZKUŠEBNÍ METODY PRO STANOVENÍ LABORATORNÍ
SROVNÁVACÍ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI A VLHKOSTI
ČSN EN 13 286-2 PROCTOROVA ZKOUŠKA

POUŽITÁ ZKUŠEBNÍ METODA: MODIFIKOVANÁ PROCTOROVA ZKOUŠKA

PROCTORŮV MOŽDÍŘ: A

HMOTNOST PĚCHU: 4,5 kg

PRŮMĚR PĚCHU: 50 mm

VÝŠKA DOPADU: 457 mm

POČET VRSTEV: 5

POČET ÚDERŮ NA VRSTVU: 25

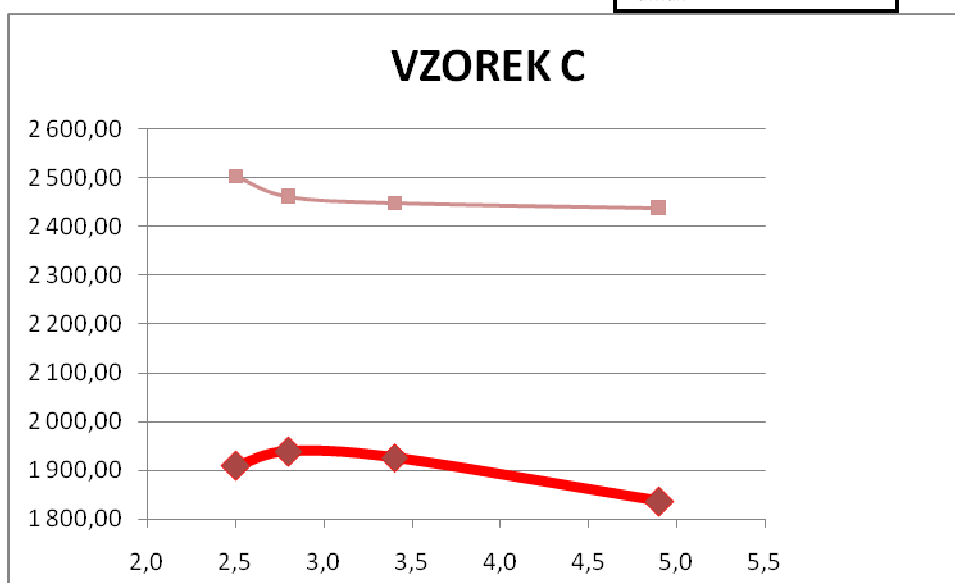
MNOŽSTVÍ ČÁSTIC ZACHYCENÝCH NA SÍTĚ 16mm: 10 %

Vzorek	V [cm ³]	m ₁ [g]	m ₂ [g]	w [%]	ρ [kg*m ⁻³]	ρ _d [kg*m ⁻³]
C1	1 139,0	6 517,0	8 745,0	2,5	1 956,1	1 908,4
C2	1 139,0	6 517,0	8 787,0	2,8	1 993,0	1 938,7
C3	1 139,0	6 517,0	8 786,0	3,4	1 992,1	1 926,6
C4	1 139,0	6 517,0	8 712,0	4,9	1 927,1	1 837,1

V objem moždírě
m₁ hmotnost moždírě a základní desky
w vlhkost směsi
m₂ hmotnost moždírě, základní desky a zhutněné směsi
ρ objemová hmotnost zhutněné vlhké směsi
ρ_d objemová hmotnost zhutněné suché směsi

w_{OPT} = 2,8%

ρ_{dmax} = 1 940 kg*m³



LABORATOŘ VUT FAST BRNO
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ
VEVEŘÍ 331/95, 602 00 BRNO

ÚNOR 2015
VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. DUŠAN STEHLÍK, Ph.D.
VYPRACOVALA: Bc. KATEŘINA SURÁ

ZKUŠEBNÍ METODY PRO STANOVENÍ LABORATORNÍ
SROVNÁVACÍ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI A VLHKOSTI
ČSN EN 13 286-2 PROCTOROVA ZKOUŠKA

POUŽITÁ ZKUŠEBNÍ METODA: MODIFIKOVANÁ PROCTOROVA ZKOUŠKA

PROCTORŮV MOŽDÍŘ: A

HMOTNOST PĚCHU: 4,5 kg

PRŮMĚR PĚCHU: 50 mm

VÝŠKA DOPADU: 457 mm

POČET VRSTEV: 5

POČET ÚDERŮ NA VRSTVU: 25

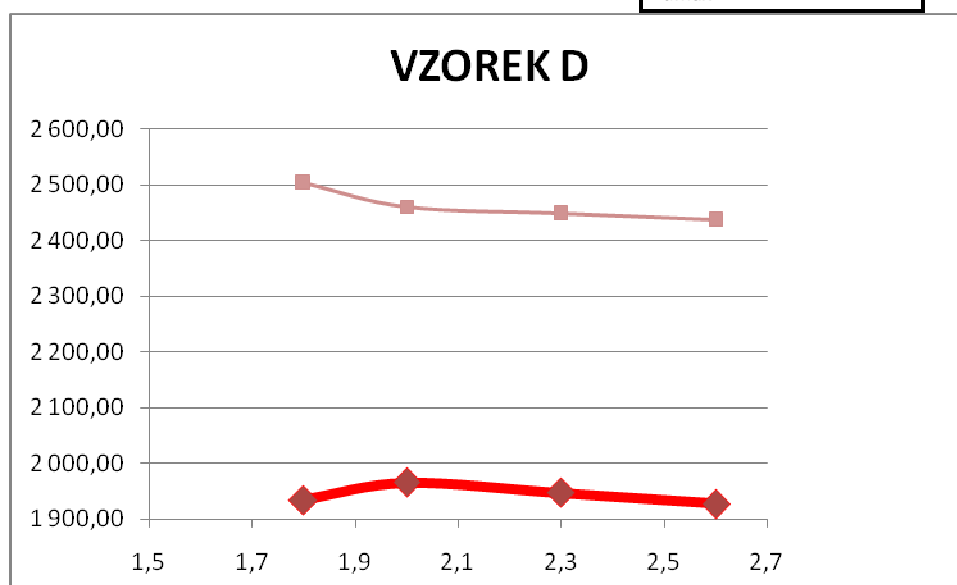
MNOŽSTVÍ ČÁSTIC ZACHYCENÝCH NA SÍTĚ 16mm: 25%

Vzorek	V [cm ³]	m ₁ [g]	m ₂ [g]	w [%]	ρ [kg*m ⁻³]	ρ _d [kg*m ⁻³]
D1	1 139,0	6 517,0	8 760,0	1,8	1 969,3	1 934,5
D2	1 139,0	6 517,0	8 801,0	2,0	2 005,3	1 966,0
D3	1 139,0	6 517,0	8 786,0	2,3	1 992,1	1 947,3
D4	1 139,0	6 517,0	8 770,0	2,6	1 978,1	1 927,9

V objem moždíře
m₁ hmotnost moždíře a základní desky
w vlhkost směsi
m₂ hmotnost moždíře, základní desky a zhuštěné směsi
ρ objemová hmotnost zhuštěné vlhké směsi
ρ_d objemová hmotnost zhuštěné suché směsi

w_{OPT} = 2,0%

ρ_{dmax} = 1 970 kg*m³



LABORATOŘ VUT FAST BRNO
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ
VEVEŘÍ 331/95, 602 00 BRNO

ÚNOR 2015
VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. DUŠAN STEHLÍK, Ph.D.
VYPRACOVALA: Bc. KATEŘINA SURÁ

**ZKUŠEBNÍ METODY PRO STANOVENÍ LABORATORNÍ
SROVNÁVACÍ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI A VLHKOSTI
ČSN EN 13 286-2 PROCTOROVA ZKOUŠKA**

POUŽITÁ ZKUŠEBNÍ METODA: MODIFIKOVANÁ PROCTOROVA ZKOUŠKA

PROCTORŮV MOŽDÍŘ: A

HMOTNOST PĚCHU: 4,5 kg

PRŮMĚR PĚCHU: 50 mm

VÝŠKA DOPADU: 457 mm

POČET VRSTEV: 5

POČET ÚDERŮ NA VRSTVU: 25

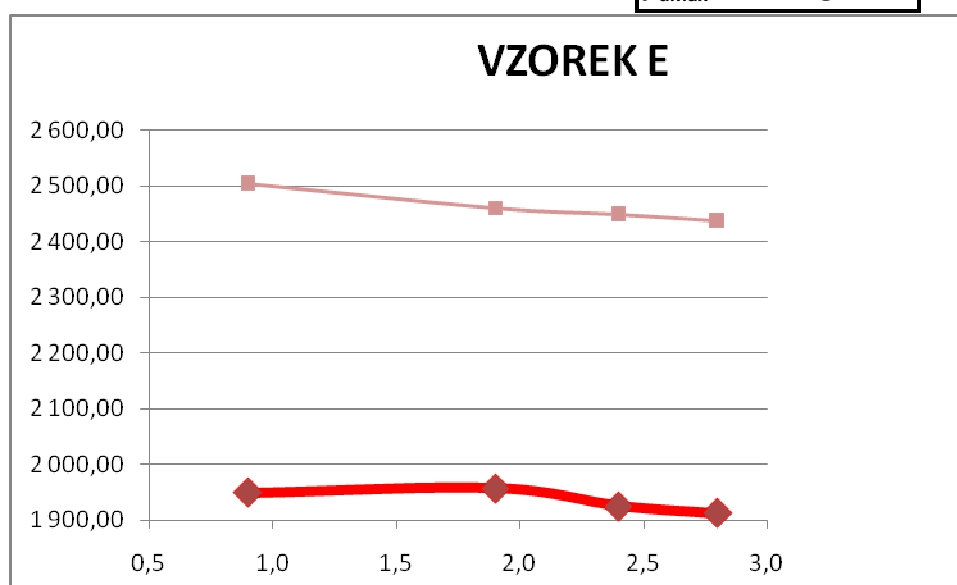
MNOŽSTVÍ ČÁSTIC ZACHYCENÝCH NA SÍTĚ 16mm: 10 %

Vzorek	V [cm ³]	m ₁ [g]	m ₂ [g]	w [%]	ρ [kg*m ⁻³]	ρ _d [kg*m ⁻³]
E1	1 139,0	6 517,0	8 758,0	0,9	1 967,5	1 950,0
E2	1 139,0	6 517,0	8 789,0	1,9	1 994,7	1 957,5
E3	1 139,0	6 517,0	8 763,0	2,4	1 971,9	1 925,7
E4	1 139,0	6 517,0	8 756,0	2,8	1 965,8	1 912,2

V objem moždíře
m₁ hmotnost moždíře a základní desky
w vlhkost směsi
m₂ hmotnost moždíře, základní desky a zhutněné směsi
ρ objemová hmotnost zhutněné vlhké směsi
ρ_d objemová hmotnost zhutněné suché směsi

w_{OPT} = 1,9%

ρ_{dmax} = 1 960 kg*m³



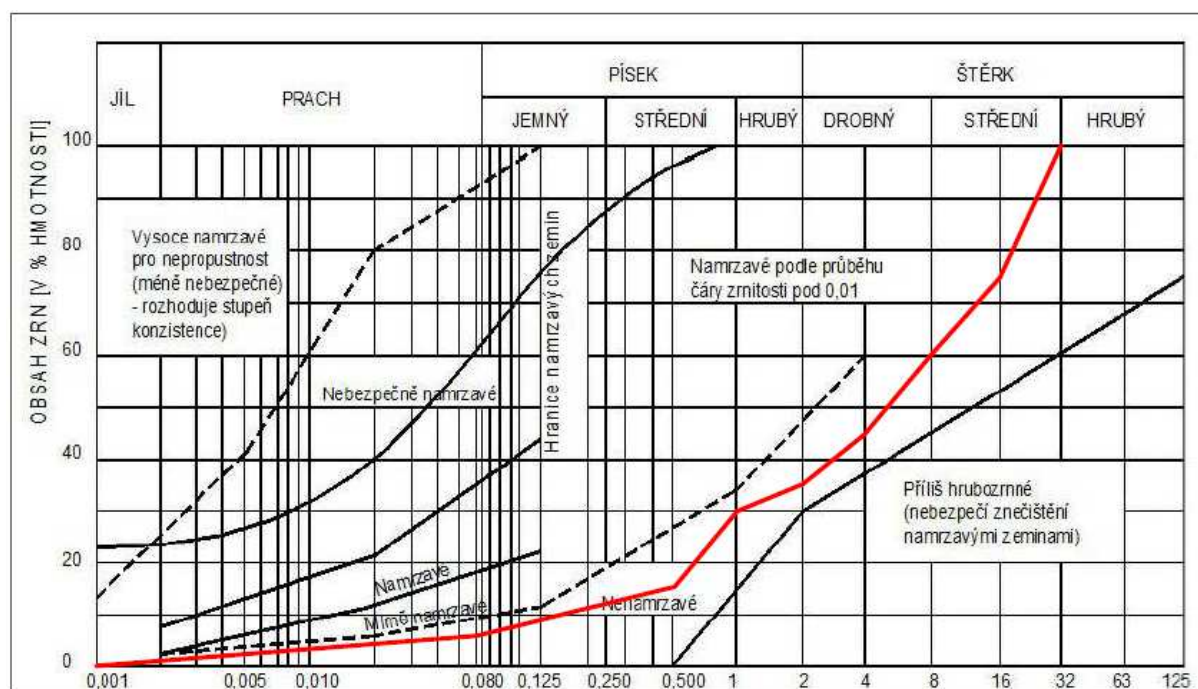
LABORATOŘ VUT FAST BRNO
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ
VEVEŘÍ 331/95, 602 00 BRNO

DUBEN 2015
VEDOUcí PRÁCE: Ing. DUŠAN STEHLÍK, Ph.D.
VYPRACOVALA: Bc. KATEŘINA SURÁ

VEYHODNOCENÍ VZORKŮ NA ZÁKLADĚ ZRNITOSTI DLE
SCHLEIBLEHO KRITÉRIA
ČSN 73 6133

Směs A

Propad v procentech hmotnosti						
Síto A	Síto B	Síto C	Síto E	Síto F	Síto G	≤ 0,063mm
75	60	45	35	30	15	7



=> NENAMRZAVÝ

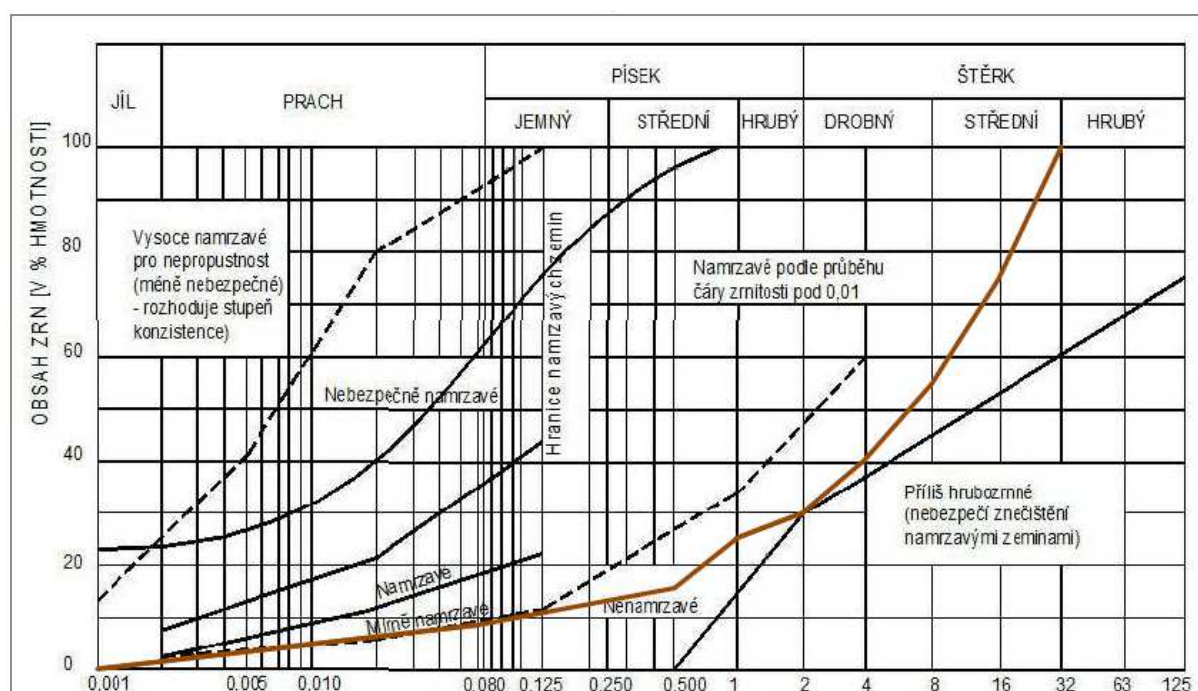
LABORATOŘ VUT FAST BRNO
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ
VEVEŘÍ 331/95, 602 00 BRNO

DUBEN 2015
VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. DUŠAN STEHLÍK, Ph.D.
VYPRACOVALA: Bc. KATEŘINA SURÁ

RYHODNOCENÍ VZORKŮ NA ZÁKLADĚ ZRNITOSTI DLE
SCHLEIBLEHO KRITÉRIA
ČSN 73 6133

Směs B

Propad v procentech hmotnosti						
Síto A	Síto B	Síto C	Síto E	Síto F	Síto G	≤ 0,063mm
75	55	40	30	25	15	9



=> NENAMRZAVÝ AŽ MÍRNĚ NAMRZAVÝ

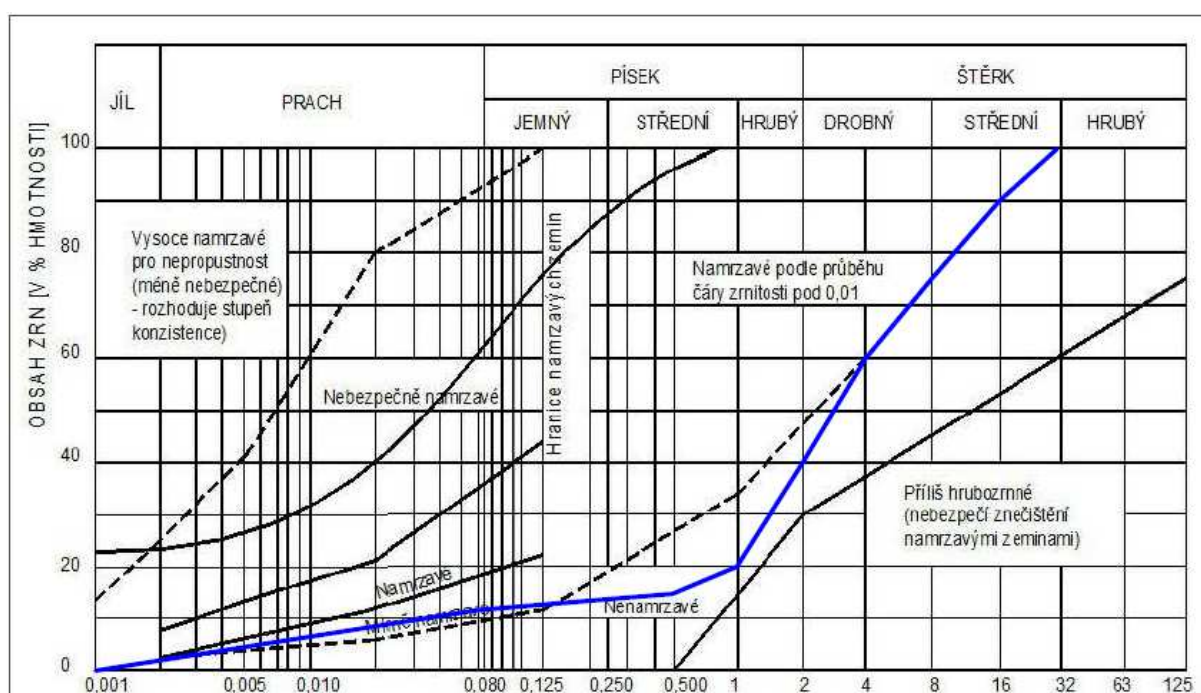
LABORATOŘ VUT FAST BRNO
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ
VEVEŘÍ 331/95, 602 00 BRNO

DUBEN 2015
VEDOUcí PRÁCE: Ing. DUŠAN STEHLÍK, Ph.D.
VYPRACOVALA: Bc. KATEŘINA SURÁ

RYHODNOCENÍ VZORKŮ NA ZÁKLADĚ ZRNITOSTI DLE
SCHLEIBLEHO KRITÉRIA
ČSN 73 6133

Směs C

Propad v procentech hmotnosti						
Síto A	Síto B	Síto C	Síto E	Síto F	Síto G	≤ 0,063mm
90	75	60	40	20	15	12



=> MÍRNĚ NAMRZAVÝ

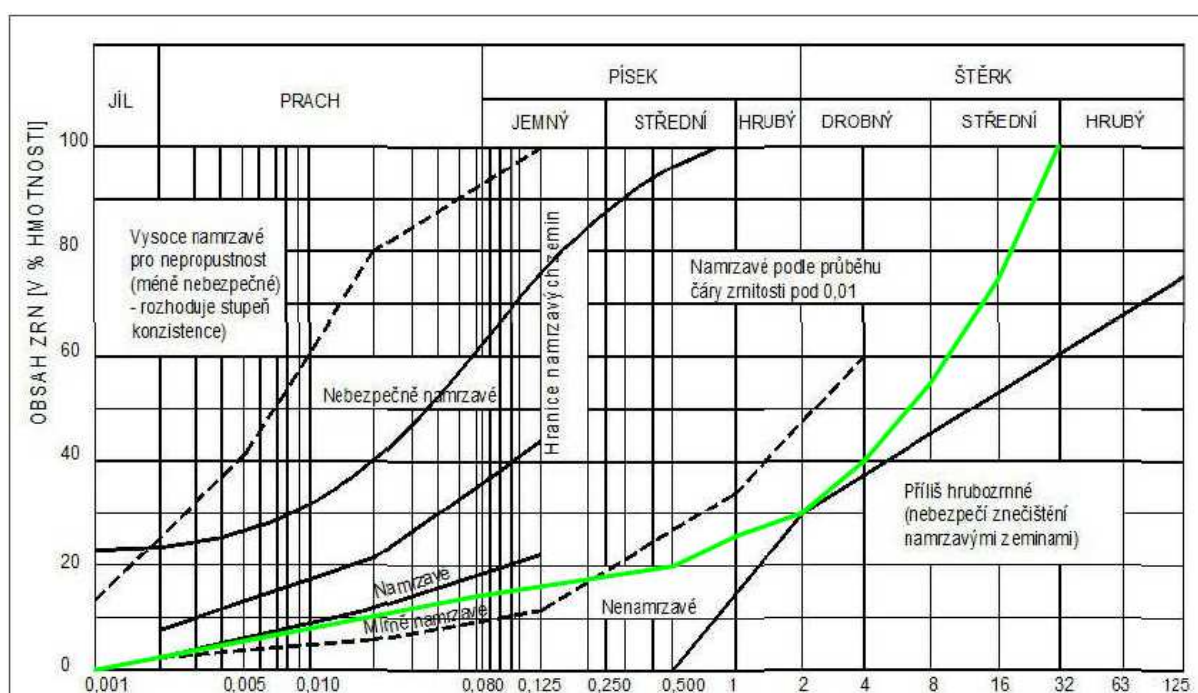
LABORATOŘ VUT FAST BRNO
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ
VEVERÍ 331/95, 602 00 BRNO

DUBEN 2015
VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. DUŠAN STEHLÍK, Ph.D.
VYPRACOVALA: Bc. KATEŘINA SURÁ

RYHODNOCENÍ VZORKŮ NA ZÁKLADĚ ZRNITOSTI DLE
SCHLEIBLEHO KRITÉRIA
ČSN 73 6133

Směs D

Propad v procentech hmotnosti						
Síto A	Síto B	Síto C	Síto E	Síto F	Síto G	≤ 0,063mm
75	55	40	30	25	20	15



=> MÍRNĚ NAMRZAVÝ AŽ NAMRZAVÝ

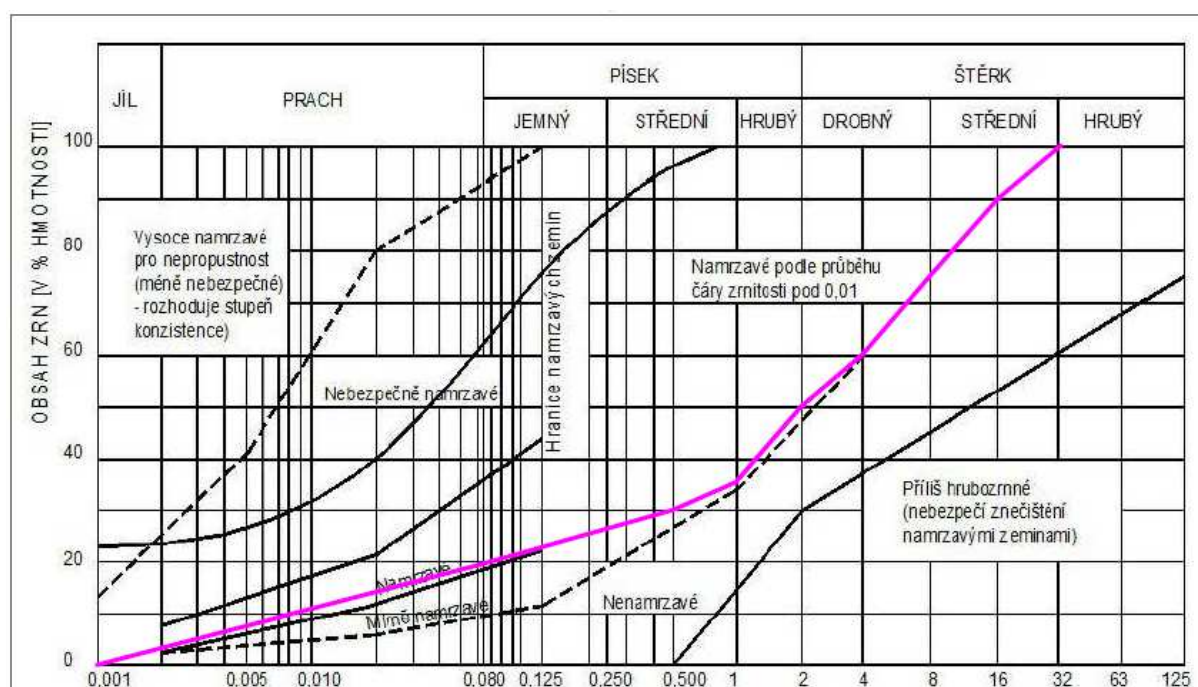
LABORATOŘ VUT FAST BRNO
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ
VEVERÍ 331/95, 602 00 BRNO

DUBEN 2015
VEDOUcí PRÁCE: Ing. DUŠAN STEHLÍK, Ph.D.
VYPRACOVALA: Bc. KATEŘINA SURÁ

VYHODNOCENÍ VZORKŮ NA ZÁKLADĚ ZRNITOSTI DLE
SCHLEIBLEHO KRITÉRIA
ČSN 73 6133

Směs E

Propad v procentech hmotnosti						
Síto A	Síto B	Síto C	Síto E	Síto F	Síto G	≤ 0,063mm
90	75	60	50	35	30	19



=> NAMRZAVÝ

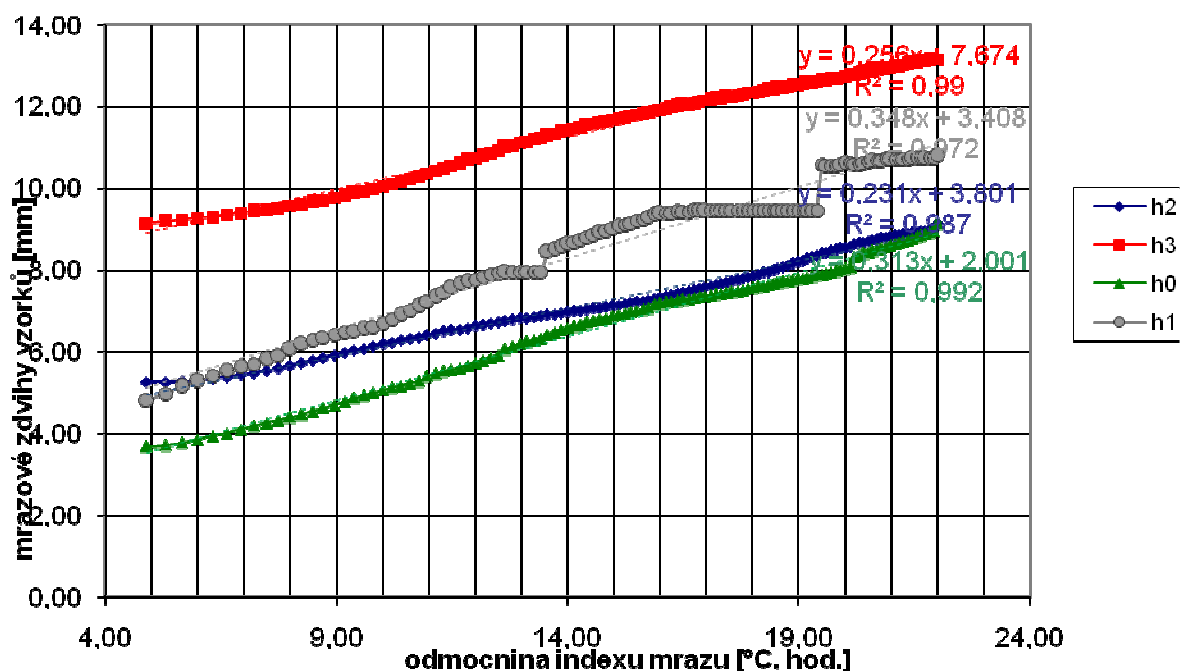
LABORATOŘ VUT FAST BRNO
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ
VEVEŘÍ 331/95, 602 00 BRNO

KVĚTEN 2015
VEDOUcí PRÁCE: Ing. DUŠAN STEHLÍK, Ph.D.
VYPRACOVALA: Bc. KATEŘINA SURÁ

VYHODNOCENÍ MÍRY NAMRZAVOSTI VZORKŮ

ČSN 72 1191

VZOREK A
MECHANICKY ZPEVNĚNÉ KAMENIVO
METODA HUTNĚNÍ: PROCTOR MODIFIKOVANÝ, MOŽDÍŘ A
 $w_{OPT} = 2,4\%$
 $\rho_{max} = 1\,930 \text{ kg} \cdot \text{m}^3$



průměrná hodnota beta	0,24	0,23	0,33	0,33
celkový výsledek součinitele beta	0,28			

=>MÍRNĚ NAMRZAVÝ AŽ NAMRZAVÝ

hod.	lm	odm. lm	mrazové zdvihy				součinitel namrzavosti beta			
			h2	h3	h0	h1	beta 2	beta 3	beta 0	beta 1
4	20	4,47	5,26	9,13	3,67	4,75	0,00	0,05	0,00	0,14
5	24	4,90	5,26	9,15	3,67	4,81	0,00	0,10	0,10	0,41
6	28	5,29	5,26	9,19	3,71	4,97	0,05	0,11	0,16	0,49
7	32	5,66	5,28	9,23	3,77	5,15	0,09	0,12	0,23	0,35
8	36	6,00	5,31	9,27	3,85	5,27	0,12	0,09	0,28	0,46
9	40	6,32	5,35	9,30	3,94	5,42	0,13	0,19	0,23	0,36
10	44	6,63	5,39	9,36	4,01	5,53	0,14	0,14	0,31	0,31
11	48	6,93	5,43	9,40	4,10	5,62	0,18	0,14	0,25	0,28
12	52	7,21	5,48	9,44	4,17	5,70	0,22	0,15	0,29	0,37
13	56	7,48	5,54	9,48	4,25	5,80	0,19	0,15	0,27	0,46
14	60	7,75	5,59	9,52	4,32	5,92	0,28	0,24	0,28	0,55
15	64	8,00	5,66	9,58	4,39	6,06	0,28	0,16	0,28	0,49
16	68	8,25	5,73	9,62	4,46	6,18	0,25	0,17	0,33	0,46
17	72	8,49	5,79	9,66	4,54	6,29	0,30	0,22	0,34	0,26
18	76	8,72	5,86	9,71	4,62	6,35	0,26	0,22	0,35	0,31
19	80	8,94	5,92	9,76	4,70	6,42	0,27	0,23	0,36	0,27
20	84	9,17	5,98	9,81	4,78	6,48	0,23	0,32	0,37	0,14
21	88	9,38	6,03	9,88	4,86	6,51	0,24	0,24	0,33	0,24
22	92	9,59	6,08	9,93	4,93	6,56	0,24	0,29	0,34	0,24
23	96	9,80	6,13	9,99	5,00	6,61	0,25	0,30	0,30	0,40
24	100	10,00	6,18	10,05	5,06	6,69	0,25	0,30	0,30	0,50
25	104	10,20	6,23	10,11	5,12	6,79	0,26	0,31	0,26	0,57
26	108	10,39	6,28	10,17	5,17	6,90	0,21	0,31	0,26	0,58
27	112	10,58	6,32	10,23	5,22	7,01	0,21	0,37	0,27	0,59
28	116	10,77	6,36	10,30	5,27	7,12	0,27	0,33	0,71	0,60
29	120	10,95	6,41	10,36	5,40	7,23	0,22	0,39	0,33	0,61
30	124	11,14	6,45	10,43	5,46	7,34	0,22	0,34	0,34	0,62
31	128	11,31	6,49	10,49	5,52	7,45	0,17	0,34	0,23	0,63
32	132	11,49	6,52	10,55	5,56	7,56	0,17	0,29	0,29	0,52
33	136	11,66	6,55	10,60	5,61	7,65	0,18	0,53	0,35	0,41
34	140	11,83	6,58	10,69	5,67	7,72	0,24	0,30	0,36	0,30
35	144	12,00	6,62	10,74	5,73	7,77	0,18	0,30	0,36	0,36
36	148	12,17	6,65	10,79	5,79	7,83	0,24	0,43	0,43	0,31
37	152	12,33	6,69	10,86	5,86	7,88	0,19	0,37	0,37	0,25
38	156	12,49	6,72	10,92	5,92	7,92	0,19	0,50	0,88	0,13
39	160	12,65	6,75	11,00	6,06	7,94	0,19	0,38	0,45	0,06
40	164	12,81	6,78	11,06	6,13	7,95	0,19	0,32	0,39	0,00
41	168	12,96	6,81	11,11	6,19	7,95	0,13	0,26	0,33	0,00
42	172	13,11	6,83	11,15	6,24	7,95	0,20	0,33	0,33	0,07

43	176	13,27	6,86	11,20	6,29	7,96	0,13	0,27	0,27	0,00
44	180	13,42	6,88	11,24	6,33	7,96	0,13	0,34	0,61	3,24
45	184	13,56	6,90	11,29	6,42	8,44	0,14	0,27	0,41	0,41
46	188	13,71	6,92	11,33	6,48	8,50	0,14	0,34	0,34	0,41
47	192	13,86	6,94	11,38	6,53	8,56	0,14	0,28	0,28	0,42
48	196	14,00	6,96	11,42	6,57	8,62	0,21	0,28	0,35	0,42
49	200	14,14	6,99	11,46	6,62	8,68	0,14	0,28	0,36	0,43
50	204	14,28	7,01	11,50	6,67	8,74	0,14	0,29	0,29	0,43
51	208	14,42	7,03	11,54	6,71	8,80	0,22	0,29	0,36	0,43
52	212	14,56	7,06	11,58	6,76	8,86	0,15	0,22	0,22	0,37
53	216	14,70	7,08	11,61	6,79	8,91	0,15	0,22	0,22	0,37
54	220	14,83	7,10	11,64	6,82	8,96	0,15	0,30	0,37	0,37
55	224	14,97	7,12	11,68	6,87	9,01	0,15	0,23	0,30	0,38
56	228	15,10	7,14	11,71	6,91	9,06	0,15	0,23	0,23	0,38
57	232	15,23	7,16	11,74	6,94	9,11	0,23	0,23	0,23	0,31
58	236	15,36	7,19	11,77	6,97	9,15	0,15	0,31	0,23	0,39
59	240	15,49	7,21	11,81	7,00	9,20	0,23	0,23	0,23	0,31
60	244	15,62	7,24	11,84	7,03	9,24	0,24	0,24	0,24	0,39
61	248	15,75	7,27	11,87	7,06	9,29	0,16	0,24	0,71	0,40
62	252	15,87	7,29	11,90	7,15	9,34	0,24	0,24	0,24	0,32
63	256	16,00	7,32	11,93	7,18	9,38	0,16	0,16	0,24	0,16
64	260	16,12	7,34	11,95	7,21	9,40	0,24	0,24	0,16	0,00
65	264	16,25	7,37	11,98	7,23	9,40	0,24	0,24	0,16	0,08
66	268	16,37	7,40	12,01	7,25	9,41	0,25	0,25	0,25	0,08
67	272	16,49	7,43	12,04	7,28	9,42	0,25	0,17	0,17	0,08
68	276	16,61	7,46	12,06	7,30	9,43	0,33	0,25	0,25	0,08
69	280	16,73	7,50	12,09	7,33	9,44	0,34	0,25	0,17	0,00
70	284	16,85	7,54	12,12	7,35	9,44	0,25	0,17	0,08	0,00
71	288	16,97	7,57	12,14	7,36	9,44	0,26	0,17	0,17	0,09
72	292	17,09	7,60	12,16	7,38	9,45	0,26	0,26	0,17	0,00
73	296	17,20	7,63	12,19	7,40	9,45	0,26	0,17	0,17	0,00
74	300	17,32	7,66	12,21	7,42	9,45	0,26	0,17	0,26	0,09
75	304	17,44	7,69	12,23	7,45	9,46	0,26	0,17	0,09	0,00
76	308	17,55	7,72	12,25	7,46	9,46	0,26	0,26	0,26	0,00
77	312	17,66	7,75	12,28	7,49	9,46	0,35	0,18	0,18	0,00
78	316	17,78	7,79	12,30	7,51	9,46	0,27	0,27	0,27	0,00
79	320	17,89	7,82	12,33	7,54	9,46	0,36	0,09	0,18	0,00
80	324	18,00	7,86	12,34	7,56	9,46	0,27	0,27	0,27	0,00
81	328	18,11	7,89	12,37	7,59	9,46	0,36	0,18	0,18	0,00
82	332	18,22	7,93	12,39	7,61	9,46	0,27	0,18	0,27	0,00
83	336	18,33	7,96	12,41	7,64	9,46	0,37	0,18	0,18	0,00
84	340	18,44	8,00	12,43	7,66	9,46	0,37	0,18	0,18	0,00
85	344	18,55	8,04	12,45	7,68	9,46	0,28	0,19	0,28	0,00
86	348	18,65	8,07	12,47	7,71	9,46	0,37	0,19	0,19	0,00
87	352	18,76	8,11	12,49	7,73	9,46	0,38	0,19	0,19	0,00

88	356	18,87	8,15	12,51	7,75	9,46	0,38	0,19	0,28	0,00
89	360	18,97	8,19	12,53	7,78	9,46	0,48	0,19	0,19	0,00
90	364	19,08	8,24	12,55	7,80	9,46	0,38	0,19	0,19	0,00
91	368	19,18	8,28	12,57	7,82	9,46	0,38	0,19	0,19	0,00
92	372	19,29	8,32	12,59	7,84	9,46	0,39	0,19	0,29	0,00
93	376	19,39	8,36	12,61	7,87	9,46	0,39	0,19	0,19	10,98
94	380	19,49	8,40	12,63	7,89	10,59	0,29	0,20	0,29	-0,29
95	384	19,60	8,43	12,65	7,92	10,56	0,39	0,20	0,20	0,00
96	388	19,70	8,47	12,67	7,94	10,56	0,30	0,20	0,30	0,00
97	392	19,80	8,50	12,69	7,97	10,56	0,30	0,20	0,30	0,20
98	396	19,90	8,53	12,71	8,00	10,58	0,20	0,30	0,30	0,20
99	400	20,00	8,55	12,74	8,03	10,60	0,30	0,20	0,30	0,10
100	404	20,10	8,58	12,76	8,06	10,61	0,60	0,00	2,72	-0,20
101	408	20,20	8,64	12,76	8,33	10,59	0,20	0,30	0,30	0,00
102	412	20,30	8,66	12,79	8,36	10,59	0,20	0,31	0,41	0,20
103	416	20,40	8,68	12,82	8,40	10,61	0,20	0,31	0,31	0,31
104	420	20,49	8,70	12,85	8,43	10,64	0,31	0,21	0,41	0,21
105	424	20,59	8,73	12,87	8,47	10,66	0,31	0,31	0,41	0,10
106	428	20,69	8,76	12,90	8,51	10,67	0,21	0,21	0,31	0,10
107	432	20,78	8,78	12,92	8,54	10,68	0,21	0,21	0,42	0,10
108	436	20,88	8,80	12,94	8,58	10,69	0,21	0,21	0,31	0,00
109	440	20,98	8,82	12,96	8,61	10,69	0,21	0,21	0,32	0,11
110	444	21,07	8,84	12,98	8,64	10,70	0,11	0,21	0,32	0,00
111	448	21,17	8,85	13,00	8,67	10,70	0,21	0,21	0,42	0,11
112	452	21,26	8,87	13,02	8,71	10,71	0,11	0,21	0,32	0,00
113	456	21,35	8,88	13,04	8,74	10,71	0,32	0,32	0,32	0,11
114	460	21,45	8,91	13,07	8,77	10,72	0,21	0,11	0,43	0,00
115	464	21,54	8,93	13,08	8,81	10,72	0,22	0,22	0,32	0,11
116	468	21,63	8,95	13,10	8,84	10,73	0,11	0,22	0,43	0,00
117	472	21,73	8,96	13,12	8,88	10,73	0,22	0,11	0,33	0,11
118	476	21,82	8,98	13,13	8,91	10,74	0,22	0,22	0,44	0,00
119	480	21,91	9,00	13,15	8,95	10,74	1,43	0,00	1,98	0,55
120	484	22,00	9,13	13,15	9,13	10,79	0,00	0,00	0,00	0,00

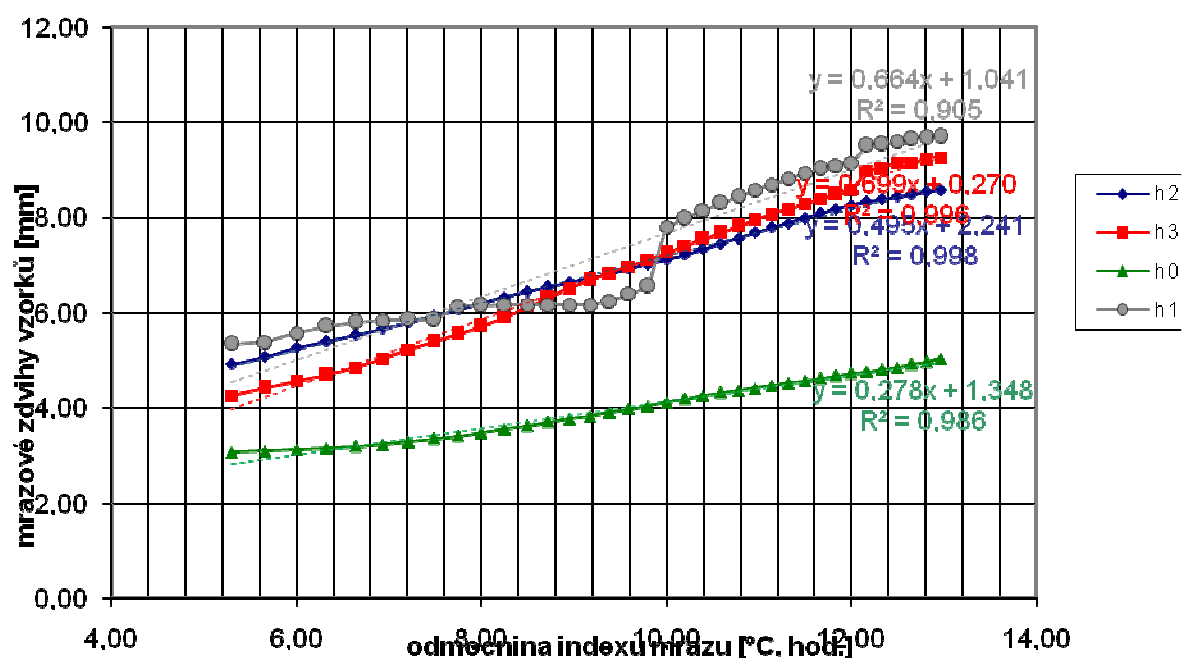
LABORATOŘ VUT FAST BRNO
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ
VEVEŘÍ 331/95, 602 00 BRNO

KVĚTEN 2015
VEDOUcí PRÁCE: Ing. DUŠAN STEHLÍK, Ph.D.
VYPRACOVALA: Bc. KATEŘINA SURÁ

VYHODNOCENÍ MÍRY NAMRZAVOSTI VZORKŮ

ČSN 72 1191

VZOREK B
MECHANICKY ZPEVNĚNÉ KAMENIVO
METODA HUTNĚNÍ: PROCTOR MODIFIKOVANÝ, MOŽDÍŘ A
 $w_{OPT} = 3,2\%$
 $\rho_{max} = 1\,930 \text{ kg} \cdot \text{m}^3$



průměrná hodnota beta	0,48	0,66	0,27	0,60
celkový výsledek součinitele beta	0,50			

=>MÍRNĚ NAMRZAVÝ AŽ NAMRZAVÝ

hod.	lm	odm. lm	mrazové zdvihy				součinitel namrzavosti beta			
			h2	h3	h0	h1	beta 2	beta 3	beta 0	beta 1
5	24	4,90	4,76	4,12	3,05	5,27	0,38	0,36	0,05	0,18
6	28	5,29	4,91	4,26	3,07	5,34	0,47	0,47	0,08	0,14
7	32	5,66	5,08	4,43	3,10	5,39	0,55	0,41	0,06	0,55
8	36	6,00	5,27	4,57	3,12	5,58	0,40	0,40	0,09	0,43
9	40	6,32	5,40	4,70	3,15	5,72	0,42	0,49	0,13	0,26
10	44	6,63	5,53	4,85	3,19	5,80	0,47	0,64	0,14	0,14
11	48	6,93	5,67	5,04	3,23	5,84	0,46	0,67	0,21	0,04
12	52	7,21	5,80	5,23	3,29	5,85	0,51	0,62	0,22	0,04
13	56	7,48	5,94	5,40	3,35	5,86	0,49	0,61	0,23	1,07
14	60	7,75	6,07	5,56	3,41	6,14	0,51	0,63	0,28	0,04
15	64	8,00	6,20	5,72	3,48	6,15	0,53	0,77	0,28	0,04
16	68	8,25	6,33	5,91	3,55	6,16	0,50	0,88	0,29	0,00
17	72	8,49	6,45	6,12	3,62	6,16	0,43	0,82	0,34	0,00
18	76	8,72	6,55	6,31	3,70	6,16	0,40	0,88	0,31	0,04
19	80	8,94	6,64	6,51	3,77	6,17	0,45	0,81	0,27	0,00
20	84	9,17	6,74	6,69	3,83	6,17	0,42	0,70	0,32	0,32
21	88	9,38	6,83	6,84	3,90	6,24	0,47	0,62	0,38	0,76
22	92	9,59	6,93	6,97	3,98	6,40	0,48	0,63	0,29	0,78
23	96	9,80	7,03	7,10	4,04	6,56	0,45	0,74	0,40	6,14
24	100	10,00	7,12	7,25	4,12	7,80	0,56	0,76	0,35	0,91
25	104	10,20	7,23	7,40	4,19	7,98	0,57	0,77	0,31	0,88
26	108	10,39	7,34	7,55	4,25	8,15	0,63	0,68	0,37	0,79
27	112	10,58	7,46	7,68	4,32	8,30	0,59	0,75	0,27	0,75
28	116	10,77	7,57	7,82	4,37	8,44	0,65	0,76	0,27	0,76
29	120	10,95	7,69	7,96	4,42	8,58	0,55	0,66	0,28	0,66
30	124	11,14	7,79	8,08	4,47	8,70	0,56	0,56	0,28	0,67
31	128	11,31	7,89	8,18	4,52	8,82	0,57	0,57	0,29	0,63
32	132	11,49	7,99	8,28	4,57	8,93	0,58	0,69	0,29	0,58
33	136	11,66	8,09	8,40	4,62	9,03	0,53	0,53	0,29	0,41
34	140	11,83	8,18	8,49	4,67	9,10	0,54	0,54	0,30	0,30
35	144	12,00	8,27	8,58	4,72	9,15	0,36	2,42	0,24	2,17
36	148	12,17	8,33	8,98	4,76	9,51	0,37	0,37	0,31	0,18
37	152	12,33	8,39	9,04	4,81	9,54	0,31	0,68	0,25	0,37
38	156	12,49	8,44	9,15	4,85	9,60	0,31	0,00	0,38	0,31
39	160	12,65	8,49	9,15	4,91	9,65	0,38	0,51	0,38	0,13
40	164	12,81	8,55	9,23	4,97	9,67	0,26	0,19	0,39	0,19
41	168	12,96	8,59	9,26	5,03	9,70	0,00	0,00	0,00	0,00

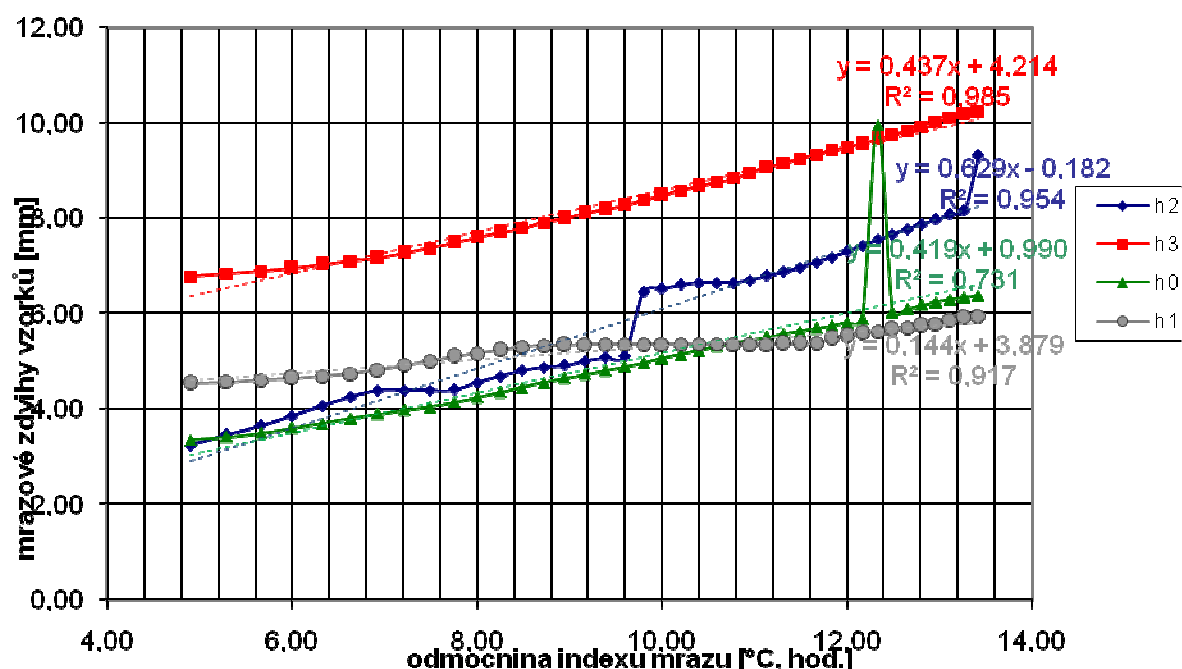
LABORATOŘ VUT FAST BRNO
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ
VEVEŘÍ 331/95, 602 00 BRNO

KVĚTEN 2015
VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. DUŠAN STEHLÍK, Ph.D.
VYPRACOVALA: Bc. KATEŘINA SURÁ

VYHODNOCENÍ MÍRY NAMRZAVOSTI VZORKŮ

ČSN 72 1191

VZOREK C
ŠTĚRKODRŤ A
METODA HUTNĚNÍ: PROCTOR MODIFIKOVANÝ, MOŽDÍŘ A
 $w_{OPT} = 2,8\%$
 $\rho_{max} = 1\,940 \text{ kg} \cdot \text{m}^3$



průměrná hodnota beta	0,78	0,43	0,35	0,17
celkový výsledek součinitele beta	0,43			

=>MÍRNĚ NAMRZAVÝ AŽ NAMRZAVÝ

hod.	lm	odm. lm	mrazové zdvihy				součinitel namrzavosti beta			
			h2	h3	h0	h1	beta 2	beta 3	beta 0	beta 1
4	20	4,47	3,05	6,74	3,29	4,54	0,45	0,09	0,12	0,00
5	24	4,90	3,24	6,78	3,34	4,54	0,56	0,13	0,18	0,08
6	28	5,29	3,46	6,83	3,41	4,57	0,52	0,16	0,22	0,08
7	32	5,66	3,65	6,89	3,49	4,60	0,58	0,17	0,32	0,12
8	36	6,00	3,85	6,95	3,60	4,64	0,68	0,25	0,28	0,12
9	40	6,32	4,07	7,03	3,69	4,68	0,58	0,23	0,36	0,19
10	44	6,63	4,25	7,10	3,80	4,74	0,47	0,24	0,31	0,27
11	48	6,93	4,39	7,17	3,89	4,82	0,00	0,35	0,28	0,35
12	52	7,21	4,39	7,27	3,97	4,92	0,00	0,37	0,26	0,33
13	56	7,48	4,39	7,37	4,04	5,01	0,04	0,46	0,38	0,34
14	60	7,75	4,40	7,49	4,14	5,10	0,59	0,43	0,39	0,28
15	64	8,00	4,55	7,60	4,24	5,17	0,57	0,41	0,45	0,28
16	68	8,25	4,69	7,70	4,35	5,24	0,50	0,38	0,42	0,25
17	72	8,49	4,81	7,79	4,45	5,30	0,26	0,52	0,43	0,13
18	76	8,72	4,87	7,91	4,55	5,33	0,18	0,40	0,40	0,04
19	80	8,94	4,91	8,00	4,64	5,34	0,45	0,50	0,36	0,05
20	84	9,17	5,01	8,11	4,72	5,35	0,32	0,37	0,37	0,00
21	88	9,38	5,08	8,19	4,80	5,35	0,09	0,38	0,43	0,00
22	92	9,59	5,10	8,27	4,89	5,35	6,50	0,53	0,39	0,00
23	96	9,80	6,44	8,38	4,97	5,35	0,40	0,49	0,45	0,00
24	100	10,00	6,52	8,48	5,06	5,35	0,40	0,50	0,40	0,00
25	104	10,20	6,60	8,58	5,14	5,35	0,21	0,46	0,41	0,00
26	108	10,39	6,64	8,67	5,22	5,35	0,05	0,47	0,47	0,00
27	112	10,58	6,65	8,76	5,31	5,35	0,00	0,43	0,37	0,00
28	116	10,77	6,65	8,84	5,38	5,35	0,27	0,65	0,33	0,05
29	120	10,95	6,70	8,96	5,44	5,36	0,50	0,66	0,33	0,00
30	124	11,14	6,79	9,08	5,50	5,36	0,51	0,45	0,39	0,06
31	128	11,31	6,88	9,16	5,57	5,37	0,51	0,51	0,34	0,00
32	132	11,49	6,97	9,25	5,63	5,37	0,64	0,46	0,35	0,12
33	136	11,66	7,08	9,33	5,69	5,39	0,59	0,59	0,35	0,53
34	140	11,83	7,18	9,43	5,75	5,48	0,71	0,36	0,36	0,30
35	144	12,00	7,30	9,49	5,81	5,53	0,79	0,42	0,42	0,30
36	148	12,17	7,43	9,56	5,88	5,58	0,73	0,61	24,92	0,24
37	152	12,33	7,55	9,66	9,95	5,62	0,74	0,56	-24,38	0,25
38	156	12,49	7,67	9,75	6,02	5,66	0,63	0,57	0,50	0,25
39	160	12,65	7,77	9,84	6,10	5,70	0,70	0,51	0,45	0,25
40	164	12,81	7,88	9,92	6,17	5,74	0,58	0,71	0,45	0,32
41	168	12,96	7,97	10,03	6,24	5,79	0,72	0,46	0,39	0,52
42	172	13,11	8,08	10,10	6,30	5,87	0,53	0,46	0,26	0,26
43	176	13,27	8,16	10,17	6,34	5,91	7,74	0,53	0,27	0,27
44	180	13,42	9,32	10,25	6,38	5,95	0,00	0,00	0,00	0,00

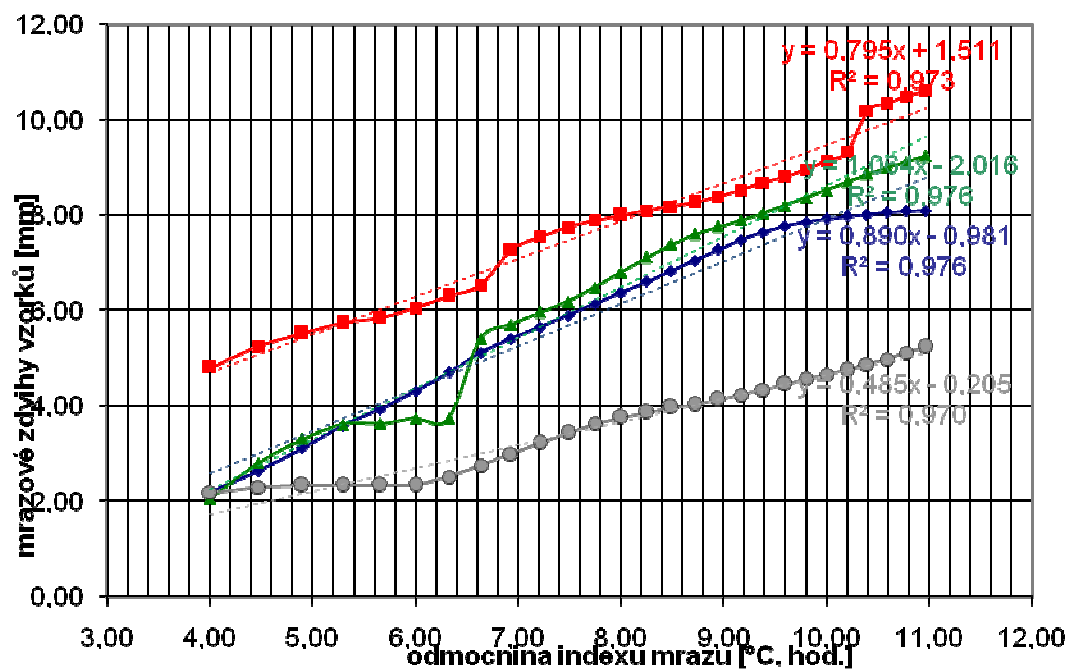
LABORATOŘ VUT FAST BRNO
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ
VEVEŘÍ 331/95, 602 00 BRNO

KVĚTEN 2015
VEDOUcí PRÁCE: Ing. DUŠAN STEHLÍK, Ph.D.
VYPRACOVALA: Bc. KATEŘINA SURÁ

VYHODNOCENÍ MÍRY NAMRZAVOSTI VZORKŮ

ČSN 72 1191

VZOREK D
MECHANICKY ZPEVNĚNÉ KAMENIVO
METODA HUTNĚNÍ: PROCTOR MODIFIKOVANÝ, MOŽDÍŘ A
 $w_{OPT} = 2,0\%$
 $\rho_{max} = 1\,970 \text{ kg} \cdot \text{m}^3$



průměrná hodnota beta	0,78	0,87	1,00	0,46
celkový výsledek součinitele beta	0,78			

=> NEBEZPEČNĚ NAMRZAVÝ

hod.	lm	odm. lm	mrazové zdvihy				součinitel namrzavosti beta			
			h2	h3	h0	h1	beta 2	beta 3	beta 0	beta 1
2	12	3,46	1,79	4,33	1,44	2,14	0,75	0,88	1,16	0,07
3	16	4,00	2,19	4,80	2,06	2,18	0,97	0,95	1,57	0,23
4	20	4,47	2,65	5,25	2,80	2,29	1,10	0,66	1,17	0,09
5	24	4,90	3,12	5,53	3,30	2,33	1,20	0,54	0,79	0,00
6	28	5,29	3,59	5,74	3,61	2,33	0,96	0,33	0,05	0,00
7	32	5,66	3,94	5,86	3,63	2,33	1,08	0,58	0,32	0,00
8	36	6,00	4,31	6,06	3,74	2,33	1,20	0,77	0,00	0,55
9	40	6,32	4,70	6,31	3,74	2,51	1,33	0,75	5,41	0,78
10	44	6,63	5,11	6,54	5,41	2,75	1,02	2,51	1,02	0,81
11	48	6,93	5,41	7,28	5,71	2,99	0,85	0,95	0,88	0,81
12	52	7,21	5,65	7,55	5,96	3,22	0,92	0,73	0,84	0,77
13	56	7,48	5,90	7,75	6,19	3,43	0,91	0,57	1,10	0,76
14	60	7,75	6,14	7,90	6,48	3,63	0,94	0,39	1,26	0,51
15	64	8,00	6,38	8,00	6,80	3,76	0,93	0,37	1,26	0,45
16	68	8,25	6,61	8,09	7,11	3,87	0,96	0,38	1,17	0,42
17	72	8,49	6,84	8,18	7,39	3,97	0,90	0,39	0,90	0,26
18	76	8,72	7,05	8,27	7,60	4,03	0,97	0,53	0,71	0,44
19	80	8,94	7,27	8,39	7,76	4,13	0,95	0,59	0,63	0,45
20	84	9,17	7,48	8,52	7,90	4,23	0,74	0,79	0,65	0,51
21	88	9,38	7,64	8,69	8,04	4,34	0,62	0,57	0,76	0,57
22	92	9,59	7,77	8,81	8,20	4,46	0,44	0,73	0,82	0,53
23	96	9,80	7,86	8,96	8,37	4,57	0,30	0,89	0,79	0,45
24	100	10,00	7,92	9,14	8,53	4,66	0,25	0,91	0,86	0,45
25	104	10,20	7,97	9,32	8,70	4,75	0,26	4,43	0,82	0,62
26	108	10,39	8,02	10,18	8,86	4,87	0,16	0,84	0,73	0,58
27	112	10,58	8,05	10,34	9,00	4,98	0,16	0,75	0,64	0,69
28	116	10,77	8,08	10,48	9,12	5,11	0,11	0,71	0,60	0,71
29	120	10,95	8,10	10,61	9,23	5,24	0,00	0,00	0,00	0,00

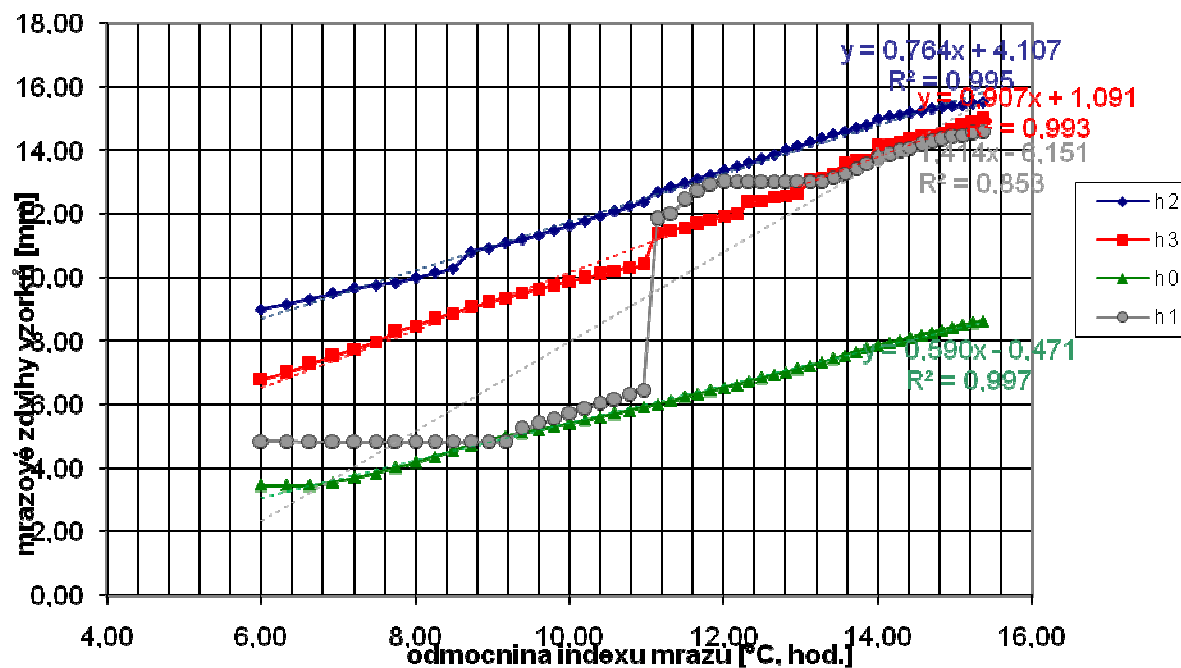
LABORATOŘ VUT FAST BRNO
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ
VEVEŘÍ 331/95, 602 00 BRNO

KVĚTEN 2015
VEDOUcí PRÁCE: Ing. DUŠAN STEHLÍK, Ph.D.
VYPRACOVALA: Bc. KATEŘINA SURÁ

VYHODNOCENÍ MÍRY NAMRZAVOSTI VZORKŮ

ČSN 72 1191

VZOREK E
ŠTĚRKODRŤ A
METODA HUTNĚNÍ: PROCTOR MODIFIKOVANÝ, MOŽDÍŘ A
 $w_{OPT} = 1,9\%$
 $\rho_{max} = 1\,960\text{ kg}\cdot\text{m}^3$



průměrná hodnota beta	0,69	0,88	0,56	1,09
celkový výsledek součinitele beta	0,81			

=>NEBEZPEČNĚ NAMRZAVÝ

hod.	Im	odm. Im	mrazové zdvihy				součinitel namrzavosti beta			
			h2	h3	h0	h1	beta 2	beta 3	beta 0	beta 1
7	32	5,66	8,86	6,57	3,44	4,85	0,41	0,70	0,06	0,00
8	36	6,00	9,00	6,81	3,46	4,85	0,52	0,59	0,00	0,00
9	40	6,32	9,17	7,00	3,46	4,85	0,52	0,91	0,00	-0,03
10	44	6,63	9,33	7,28	3,46	4,84	0,61	0,85	0,34	0,00
11	48	6,93	9,51	7,53	3,56	4,84	0,57	0,78	0,53	0,00
12	52	7,21	9,67	7,75	3,71	4,84	0,33	0,84	0,51	0,00
13	56	7,48	9,76	7,98	3,85	4,84	0,30	1,22	0,69	0,00
14	60	7,75	9,84	8,30	4,03	4,84	0,55	0,67	0,59	0,00
15	64	8,00	9,98	8,47	4,18	4,84	0,65	0,89	0,77	0,00
16	68	8,25	10,14	8,69	4,37	4,84	0,67	0,79	0,79	0,00
17	72	8,49	10,30	8,88	4,56	4,84	2,11	0,77	0,77	0,00
18	76	8,72	10,79	9,06	4,74	4,84	0,62	0,71	0,66	0,00
19	80	8,94	10,93	9,22	4,89	4,84	0,63	0,68	0,54	0,00
20	84	9,17	11,07	9,37	5,01	4,84	0,60	0,65	0,46	1,85
21	88	9,38	11,20	9,51	5,11	5,24	0,66	0,62	0,52	0,76
22	92	9,59	11,34	9,64	5,22	5,40	0,73	0,63	0,48	0,82
23	96	9,80	11,49	9,77	5,32	5,57	0,74	0,54	0,49	0,84
24	100	10,00	11,64	9,88	5,42	5,74	0,76	0,56	0,45	0,86
25	104	10,20	11,79	9,99	5,51	5,91	0,77	0,57	0,51	0,72
26	108	10,39	11,94	10,10	5,61	6,05	0,73	0,58	0,52	0,73
27	112	10,58	12,08	10,21	5,71	6,19	0,85	0,64	0,53	0,75
28	116	10,77	12,24	10,33	5,81	6,33	0,81	0,65	0,65	0,71
29	120	10,95	12,39	10,45	5,93	6,46	1,71	5,30	0,50	29,71
30	124	11,14	12,70	11,41	6,02	11,84	0,84	0,45	0,62	0,95
31	128	11,31	12,85	11,49	6,13	12,01	0,68	0,51	0,63	2,45
32	132	11,49	12,97	11,58	6,24	12,44	0,75	0,52	0,58	1,74
33	136	11,66	13,10	11,67	6,34	12,74	0,82	0,88	0,59	1,17
34	140	11,83	13,24	11,82	6,44	12,94	0,77	0,71	0,60	0,36
35	144	12,00	13,37	11,94	6,54	13,00	0,79	0,54	0,54	0,18
36	148	12,17	13,50	12,03	6,63	13,03	0,73	2,02	0,67	0,00
37	152	12,33	13,62	12,36	6,74	13,03	0,74	0,43	0,62	0,00
38	156	12,49	13,74	12,43	6,84	13,03	0,82	0,63	0,63	0,00
39	160	12,65	13,87	12,53	6,94	13,03	0,89	0,38	0,57	0,00
40	164	12,81	14,01	12,59	7,03	13,03	0,77	0,45	0,64	0,00
41	168	12,96	14,13	12,66	7,13	13,03	0,78	2,48	0,65	0,00
42	172	13,11	14,25	13,04	7,23	13,03	0,79	0,73	0,73	0,00
43	176	13,27	14,37	13,15	7,34	13,03	0,80	0,87	0,73	0,73
44	180	13,42	14,49	13,28	7,45	13,14	0,81	1,96	0,74	0,94
45	184	13,56	14,61	13,57	7,56	13,28	0,61	0,55	0,75	1,02
46	188	13,71	14,70	13,65	7,67	13,43	0,69	0,48	0,76	1,10
47	192	13,86	14,80	13,72	7,78	13,59	1,25	2,92	0,63	0,97
48	196	14,00	14,98	14,14	7,87	13,73	0,56	0,42	0,63	0,91
49	200	14,14	15,06	14,20	7,96	13,86	0,50	0,50	0,57	0,78

50	204	14,28	15,13	14,27	8,04	13,97	0,36	0,43	0,57	0,79
51	208	14,42	15,18	14,33	8,12	14,08	0,51	0,58	0,58	0,72
52	212	14,56	15,25	14,41	8,20	14,18	0,37	0,51	0,59	0,59
53	216	14,70	15,30	14,48	8,28	14,26	0,37	0,52	0,59	0,59
54	220	14,83	15,35	14,55	8,36	14,34	0,37	0,52	0,60	0,52
55	224	14,97	15,40	14,62	8,44	14,41	0,38	1,73	0,53	0,53
56	228	15,10	15,45	14,85	8,51	14,48	0,30	0,45	0,53	0,45
57	232	15,23	15,49	14,91	8,58	14,54	0,23	0,54	0,46	0,46
58	236	15,36	15,52	14,98	8,64	14,60	0,00	0,00	0,00	0,00

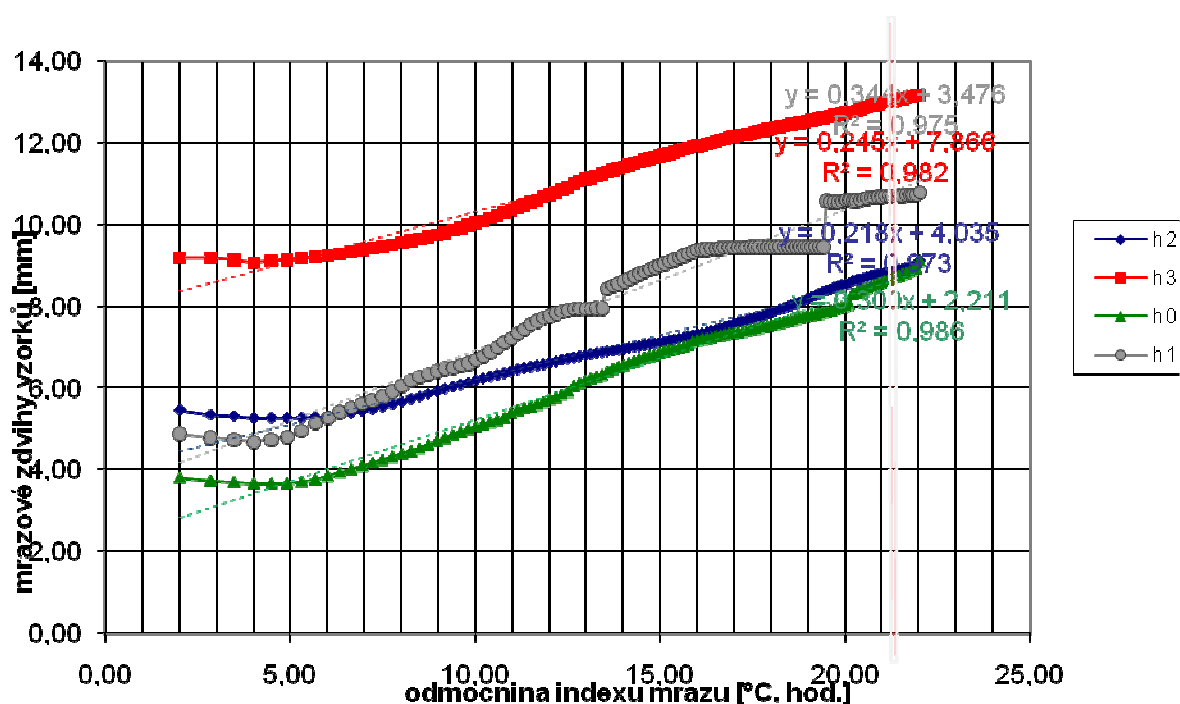
LABORATOŘ VUT FAST BRNO
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ
VEVEŘÍ 331/95, 602 00 BRNO

KVĚTEN 2015
VEDOUcí PRÁCE: Ing. DUŠAN STEHLÍK, Ph.D.
VYPRACOVALA: Bc. KATEŘINA SURÁ

VYHODNOCENÍ MÍRY NAMRZAVOSTI VZORKŮ

„UPRAVENOU METODOU“

VZOREK A
MECHANICKY ZPEVNĚNÉ KAMENIVO
METODA HUTNĚNÍ: PROCTOR MODIFIKOVANÝ, MOŽDÍŘ A
 $w_{OPT} = 2,4\%$
 $\rho_{max} = 1\,930\text{ kg}\cdot\text{m}^3$



průměrná hodnota beta	0,23	0,23	0,32	0,32
celkový výsledek součinitele beta	0,27			

=>MÍRNĚ NAMRZAVÝ AŽ NAMRZAVÝ

hod.	lm	odm. lm	mrazové zdvihy				součinitel namrzavosti beta			
			h2	h3	h0	h1	beta 2	beta 3	beta 0	beta 1
0	4	2,00	5,46	9,19	3,81	4,89	-0,14	0,00	-0,08	-0,12
1	8	2,83	5,34	9,19	3,74	4,79	-0,05	-0,06	-0,06	-0,06
2	12	3,46	5,31	9,15	3,70	4,75	-0,09	-0,13	-0,06	-0,11
3	16	4,00	5,26	9,08	3,67	4,69	0,00	0,11	0,00	0,13
4	20	4,47	5,26	9,13	3,67	4,75	0,00	0,05	0,00	0,14
5	24	4,90	5,26	9,15	3,67	4,81	0,00	0,10	0,10	0,41
6	28	5,29	5,26	9,19	3,71	4,97	0,05	0,11	0,16	0,49
7	32	5,66	5,28	9,23	3,77	5,15	0,09	0,12	0,23	0,35
8	36	6,00	5,31	9,27	3,85	5,27	0,12	0,09	0,28	0,46
9	40	6,32	5,35	9,30	3,94	5,42	0,13	0,19	0,23	0,36
10	44	6,63	5,39	9,36	4,01	5,53	0,14	0,14	0,31	0,31
11	48	6,93	5,43	9,40	4,10	5,62	0,18	0,14	0,25	0,28
12	52	7,21	5,48	9,44	4,17	5,70	0,22	0,15	0,29	0,37
13	56	7,48	5,54	9,48	4,25	5,80	0,19	0,15	0,27	0,46
14	60	7,75	5,59	9,52	4,32	5,92	0,28	0,24	0,28	0,55
15	64	8,00	5,66	9,58	4,39	6,06	0,28	0,16	0,28	0,49
16	68	8,25	5,73	9,62	4,46	6,18	0,25	0,17	0,33	0,46
17	72	8,49	5,79	9,66	4,54	6,29	0,30	0,22	0,34	0,26
18	76	8,72	5,86	9,71	4,62	6,35	0,26	0,22	0,35	0,31
19	80	8,94	5,92	9,76	4,70	6,42	0,27	0,23	0,36	0,27
20	84	9,17	5,98	9,81	4,78	6,48	0,23	0,32	0,37	0,14
21	88	9,38	6,03	9,88	4,86	6,51	0,24	0,24	0,33	0,24
22	92	9,59	6,08	9,93	4,93	6,56	0,24	0,29	0,34	0,24
23	96	9,80	6,13	9,99	5,00	6,61	0,25	0,30	0,30	0,40
24	100	10,00	6,18	10,05	5,06	6,69	0,25	0,30	0,30	0,50
25	104	10,20	6,23	10,11	5,12	6,79	0,26	0,31	0,26	0,57
26	108	10,39	6,28	10,17	5,17	6,90	0,21	0,31	0,26	0,58
27	112	10,58	6,32	10,23	5,22	7,01	0,21	0,37	0,27	0,59
28	116	10,77	6,36	10,30	5,27	7,12	0,27	0,33	0,71	0,60
29	120	10,95	6,41	10,36	5,40	7,23	0,22	0,39	0,33	0,61
30	124	11,14	6,45	10,43	5,46	7,34	0,22	0,34	0,34	0,62
31	128	11,31	6,49	10,49	5,52	7,45	0,17	0,34	0,23	0,63
32	132	11,49	6,52	10,55	5,56	7,56	0,17	0,29	0,29	0,52
33	136	11,66	6,55	10,60	5,61	7,65	0,18	0,53	0,35	0,41
34	140	11,83	6,58	10,69	5,67	7,72	0,24	0,30	0,36	0,30
35	144	12,00	6,62	10,74	5,73	7,77	0,18	0,30	0,36	0,36
36	148	12,17	6,65	10,79	5,79	7,83	0,24	0,43	0,43	0,31
37	152	12,33	6,69	10,86	5,86	7,88	0,19	0,37	0,37	0,25
38	156	12,49	6,72	10,92	5,92	7,92	0,19	0,50	0,88	0,13
39	160	12,65	6,75	11,00	6,06	7,94	0,19	0,38	0,45	0,06
40	164	12,81	6,78	11,06	6,13	7,95	0,19	0,32	0,39	0,00
41	168	12,96	6,81	11,11	6,19	7,95	0,13	0,26	0,33	0,00
42	172	13,11	6,83	11,15	6,24	7,95	0,20	0,33	0,33	0,07

43	176	13,27	6,86	11,20	6,29	7,96	0,13	0,27	0,27	0,00
44	180	13,42	6,88	11,24	6,33	7,96	0,13	0,34	0,61	3,24
45	184	13,56	6,90	11,29	6,42	8,44	0,14	0,27	0,41	0,41
46	188	13,71	6,92	11,33	6,48	8,50	0,14	0,34	0,34	0,41
47	192	13,86	6,94	11,38	6,53	8,56	0,14	0,28	0,28	0,42
48	196	14,00	6,96	11,42	6,57	8,62	0,21	0,28	0,35	0,42
49	200	14,14	6,99	11,46	6,62	8,68	0,14	0,28	0,36	0,43
50	204	14,28	7,01	11,50	6,67	8,74	0,14	0,29	0,29	0,43
51	208	14,42	7,03	11,54	6,71	8,80	0,22	0,29	0,36	0,43
52	212	14,56	7,06	11,58	6,76	8,86	0,15	0,22	0,22	0,37
53	216	14,70	7,08	11,61	6,79	8,91	0,15	0,22	0,22	0,37
54	220	14,83	7,10	11,64	6,82	8,96	0,15	0,30	0,37	0,37
55	224	14,97	7,12	11,68	6,87	9,01	0,15	0,23	0,30	0,38
56	228	15,10	7,14	11,71	6,91	9,06	0,15	0,23	0,23	0,38
57	232	15,23	7,16	11,74	6,94	9,11	0,23	0,23	0,23	0,31
58	236	15,36	7,19	11,77	6,97	9,15	0,15	0,31	0,23	0,39
59	240	15,49	7,21	11,81	7,00	9,20	0,23	0,23	0,23	0,31
60	244	15,62	7,24	11,84	7,03	9,24	0,24	0,24	0,24	0,39
61	248	15,75	7,27	11,87	7,06	9,29	0,16	0,24	0,71	0,40
62	252	15,87	7,29	11,90	7,15	9,34	0,24	0,24	0,24	0,32
63	256	16,00	7,32	11,93	7,18	9,38	0,16	0,16	0,24	0,16
64	260	16,12	7,34	11,95	7,21	9,40	0,24	0,24	0,16	0,00
65	264	16,25	7,37	11,98	7,23	9,40	0,24	0,24	0,16	0,08
66	268	16,37	7,40	12,01	7,25	9,41	0,25	0,25	0,25	0,08
67	272	16,49	7,43	12,04	7,28	9,42	0,25	0,17	0,17	0,08
68	276	16,61	7,46	12,06	7,30	9,43	0,33	0,25	0,25	0,08
69	280	16,73	7,50	12,09	7,33	9,44	0,34	0,25	0,17	0,00
70	284	16,85	7,54	12,12	7,35	9,44	0,25	0,17	0,08	0,00
71	288	16,97	7,57	12,14	7,36	9,44	0,26	0,17	0,17	0,09
72	292	17,09	7,60	12,16	7,38	9,45	0,26	0,26	0,17	0,00
73	296	17,20	7,63	12,19	7,40	9,45	0,26	0,17	0,17	0,00
74	300	17,32	7,66	12,21	7,42	9,45	0,26	0,17	0,26	0,09
75	304	17,44	7,69	12,23	7,45	9,46	0,26	0,17	0,09	0,00
76	308	17,55	7,72	12,25	7,46	9,46	0,26	0,26	0,26	0,00
77	312	17,66	7,75	12,28	7,49	9,46	0,35	0,18	0,18	0,00
78	316	17,78	7,79	12,30	7,51	9,46	0,27	0,27	0,27	0,00
79	320	17,89	7,82	12,33	7,54	9,46	0,36	0,09	0,18	0,00
80	324	18,00	7,86	12,34	7,56	9,46	0,27	0,27	0,27	0,00
81	328	18,11	7,89	12,37	7,59	9,46	0,36	0,18	0,18	0,00
82	332	18,22	7,93	12,39	7,61	9,46	0,27	0,18	0,27	0,00
83	336	18,33	7,96	12,41	7,64	9,46	0,37	0,18	0,18	0,00
84	340	18,44	8,00	12,43	7,66	9,46	0,37	0,18	0,18	0,00
85	344	18,55	8,04	12,45	7,68	9,46	0,28	0,19	0,28	0,00
86	348	18,65	8,07	12,47	7,71	9,46	0,37	0,19	0,19	0,00
87	352	18,76	8,11	12,49	7,73	9,46	0,38	0,19	0,19	0,00

88	356	18,87	8,15	12,51	7,75	9,46	0,38	0,19	0,28	0,00
89	360	18,97	8,19	12,53	7,78	9,46	0,48	0,19	0,19	0,00
90	364	19,08	8,24	12,55	7,80	9,46	0,38	0,19	0,19	0,00
91	368	19,18	8,28	12,57	7,82	9,46	0,38	0,19	0,19	0,00
92	372	19,29	8,32	12,59	7,84	9,46	0,39	0,19	0,29	0,00
93	376	19,39	8,36	12,61	7,87	9,46	0,39	0,19	0,19	10,98
94	380	19,49	8,40	12,63	7,89	10,59	0,29	0,20	0,29	-0,29
95	384	19,60	8,43	12,65	7,92	10,56	0,39	0,20	0,20	0,00
96	388	19,70	8,47	12,67	7,94	10,56	0,30	0,20	0,30	0,00
97	392	19,80	8,50	12,69	7,97	10,56	0,30	0,20	0,30	0,20
98	396	19,90	8,53	12,71	8,00	10,58	0,20	0,30	0,30	0,20
99	400	20,00	8,55	12,74	8,03	10,60	0,30	0,20	0,30	0,10
100	404	20,10	8,58	12,76	8,06	10,61	0,60	0,00	2,72	-0,20
101	408	20,20	8,64	12,76	8,33	10,59	0,20	0,30	0,30	0,00
102	412	20,30	8,66	12,79	8,36	10,59	0,20	0,31	0,41	0,20
103	416	20,40	8,68	12,82	8,40	10,61	0,20	0,31	0,31	0,31
104	420	20,49	8,70	12,85	8,43	10,64	0,31	0,21	0,41	0,21
105	424	20,59	8,73	12,87	8,47	10,66	0,31	0,31	0,41	0,10
106	428	20,69	8,76	12,90	8,51	10,67	0,21	0,21	0,31	0,10
107	432	20,78	8,78	12,92	8,54	10,68	0,21	0,21	0,42	0,10
108	436	20,88	8,80	12,94	8,58	10,69	0,21	0,21	0,31	0,00
109	440	20,98	8,82	12,96	8,61	10,69	0,21	0,21	0,32	0,11
110	444	21,07	8,84	12,98	8,64	10,70	0,11	0,21	0,32	0,00
111	448	21,17	8,85	13,00	8,67	10,70	0,21	0,21	0,42	0,11
112	452	21,26	8,87	13,02	8,71	10,71	0,11	0,21	0,32	0,00
113	456	21,35	8,88	13,04	8,74	10,71	0,32	0,32	0,32	0,11
114	460	21,45	8,91	13,07	8,77	10,72	0,21	0,11	0,43	0,00
115	464	21,54	8,93	13,08	8,81	10,72	0,22	0,22	0,32	0,11
116	468	21,63	8,95	13,10	8,84	10,73	0,11	0,22	0,43	0,00
117	472	21,73	8,96	13,12	8,88	10,73	0,22	0,11	0,33	0,11
118	476	21,82	8,98	13,13	8,91	10,74	0,22	0,22	0,44	0,00
119	480	21,91	9,00	13,15	8,95	10,74	1,43	0,00	1,98	0,55
120	484	22,00	9,13	13,15	9,13	10,79	0,00	0,00	0,00	0,00

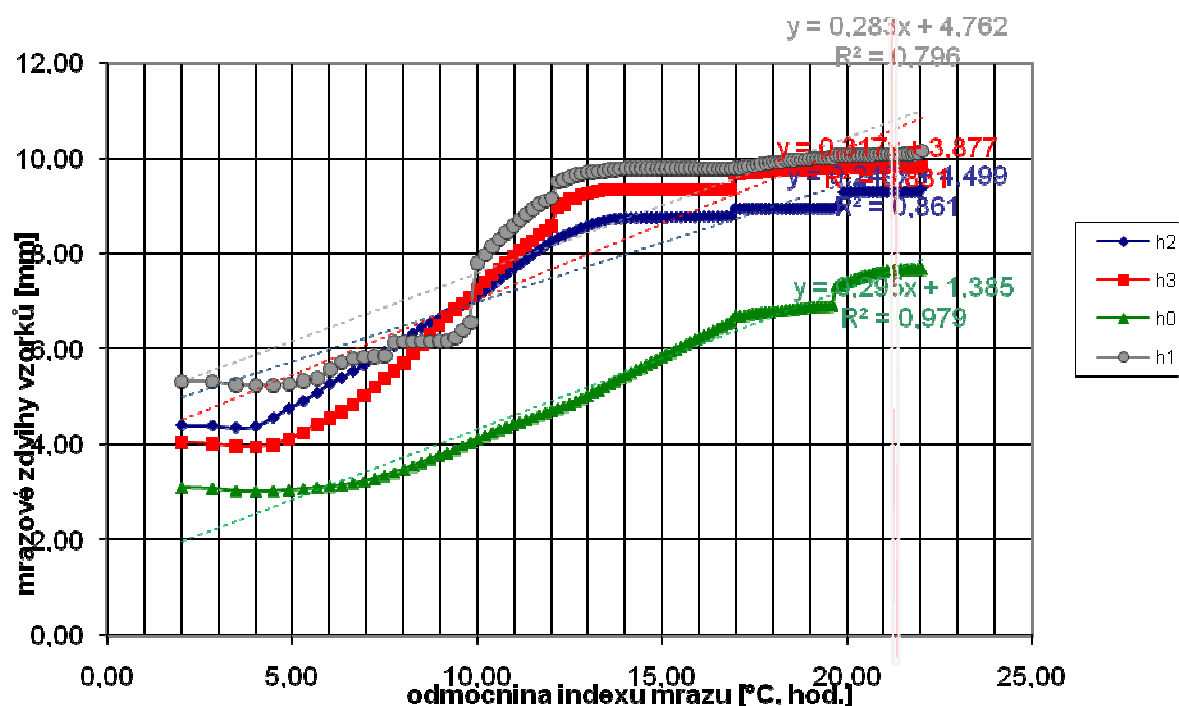
LABORATOŘ VUT FAST BRNO
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ
VEVEŘÍ 331/95, 602 00 BRNO

KVĚTEN 2015
VEDOUcí PRÁCE: Ing. DUŠAN STEHLÍK, Ph.D.
VYPRACOVALA: Bc. KATEŘINA SURÁ

VYHODNOCENÍ MÍRY NAMRZAVOSTI VZORKŮ

„UPRAVENOU METODOU“

VZOREK B
MECHANICKY ZPEVNĚNÉ KAMENIVO
METODA HUTNĚNÍ: PROCTOR MODIFIKOVANÝ, MOŽDÍŘ A
 $w_{OPT} = 3,2\%$
 $\rho_{max} = 1\,930 \text{ kg} \cdot \text{m}^3$



průměrná hodnota beta	0,21	0,24	0,26	0,21
celkový výsledek součinitele beta	0,23			

=>MÍRNĚ NAMRZAVÝ AŽ NAMRZAVÝ

hod.	lm	odm. lm	mrazové zdvihy				součinitel namrzavosti beta			
			h2	h3	h0	h1	beta 2	beta 3	beta 0	beta 1
0	4	2,00	4,40	4,06	3,10	5,32	-0,01	-0,04	-0,02	0,00
1	8	2,83	4,39	4,03	3,08	5,32	-0,06	-0,08	-0,08	-0,09
2	12	3,46	4,35	3,98	3,03	5,26	0,06	-0,02	-0,02	-0,02
3	16	4,00	4,38	3,97	3,02	5,25	0,38	0,08	0,02	0,00
4	20	4,47	4,56	4,01	3,03	5,25	0,47	0,26	0,05	0,05
5	24	4,90	4,76	4,12	3,05	5,27	0,38	0,36	0,05	0,18
6	28	5,29	4,91	4,26	3,07	5,34	0,47	0,47	0,08	0,14
7	32	5,66	5,08	4,43	3,10	5,39	0,55	0,41	0,06	0,55
8	36	6,00	5,27	4,57	3,12	5,58	0,40	0,40	0,09	0,43
9	40	6,32	5,40	4,70	3,15	5,72	0,42	0,49	0,13	0,26
10	44	6,63	5,53	4,85	3,19	5,80	0,47	0,64	0,14	0,14
11	48	6,93	5,67	5,04	3,23	5,84	0,46	0,67	0,21	0,04
12	52	7,21	5,80	5,23	3,29	5,85	0,51	0,62	0,22	0,04
13	56	7,48	5,94	5,40	3,35	5,86	0,49	0,61	0,23	1,07
14	60	7,75	6,07	5,56	3,41	6,14	0,51	0,63	0,28	0,04
15	64	8,00	6,20	5,72	3,48	6,15	0,53	0,77	0,28	0,04
16	68	8,25	6,33	5,91	3,55	6,16	0,50	0,88	0,29	0,00
17	72	8,49	6,45	6,12	3,62	6,16	0,43	0,82	0,34	0,00
18	76	8,72	6,55	6,31	3,70	6,16	0,40	0,88	0,31	0,04
19	80	8,94	6,64	6,51	3,77	6,17	0,45	0,81	0,27	0,00
20	84	9,17	6,74	6,69	3,83	6,17	0,42	0,70	0,32	0,32
21	88	9,38	6,83	6,84	3,90	6,24	0,47	0,62	0,38	0,76
22	92	9,59	6,93	6,97	3,98	6,40	0,48	0,63	0,29	0,78
23	96	9,80	7,03	7,10	4,04	6,56	0,45	0,74	0,40	6,14
24	100	10,00	7,12	7,25	4,12	7,80	0,56	0,76	0,35	0,91
25	104	10,20	7,23	7,40	4,19	7,98	0,57	0,77	0,31	0,88
26	108	10,39	7,34	7,55	4,25	8,15	0,63	0,68	0,37	0,79
27	112	10,58	7,46	7,68	4,32	8,30	0,59	0,75	0,27	0,75
28	116	10,77	7,57	7,82	4,37	8,44	0,65	0,76	0,27	0,76
29	120	10,95	7,69	7,96	4,42	8,58	0,55	0,66	0,28	0,66
30	124	11,14	7,79	8,08	4,47	8,70	0,56	0,56	0,28	0,67
31	128	11,31	7,89	8,18	4,52	8,82	0,57	0,57	0,29	0,63
32	132	11,49	7,99	8,28	4,57	8,93	0,58	0,69	0,29	0,58
33	136	11,66	8,09	8,40	4,62	9,03	0,53	0,53	0,29	0,41
34	140	11,83	8,18	8,49	4,67	9,10	0,54	0,54	0,30	0,30
35	144	12,00	8,27	8,58	4,72	9,15	0,36	2,42	0,24	2,17
36	148	12,17	8,33	8,98	4,76	9,51	0,37	0,37	0,31	0,18
37	152	12,33	8,39	9,04	4,81	9,54	0,31	0,68	0,25	0,37
38	156	12,49	8,44	9,15	4,85	9,60	0,31	0,00	0,38	0,31
39	160	12,65	8,49	9,15	4,91	9,65	0,38	0,51	0,38	0,13
40	164	12,81	8,55	9,23	4,97	9,67	0,26	0,19	0,39	0,19
41	168	12,96	8,59	9,26	5,03	9,70	0,26	0,20	0,39	0,00
42	172	13,11	8,63	9,29	5,09	9,70	0,26	0,13	0,40	0,13

43	176	13,27	8,67	9,31	5,15	9,72	0,20	0,20	0,47	0,07
44	180	13,42	8,70	9,34	5,22	9,73	0,20	0,00	0,40	0,20
45	184	13,56	8,73	9,34	5,28	9,76	0,07	0,07	0,41	0,00
46	188	13,71	8,74	9,35	5,34	9,76	0,07	0,00	0,41	0,07
47	192	13,86	8,75	9,35	5,40	9,77	0,07	0,00	0,42	0,07
48	196	14,00	8,76	9,35	5,46	9,78	0,00	0,00	0,35	0,00
49	200	14,14	8,76	9,35	5,51	9,78	0,00	0,00	0,43	0,00
50	204	14,28	8,76	9,35	5,57	9,78	0,07	0,00	0,36	0,00
51	208	14,42	8,77	9,35	5,62	9,78	0,00	0,00	0,43	0,00
52	212	14,56	8,77	9,35	5,68	9,78	0,00	0,00	0,44	0,00
53	216	14,70	8,77	9,35	5,74	9,78	0,00	0,00	0,37	0,00
54	220	14,83	8,77	9,35	5,79	9,78	0,00	0,00	0,37	0,00
55	224	14,97	8,77	9,35	5,84	9,78	0,00	0,00	0,45	0,00
56	228	15,10	8,77	9,35	5,90	9,78	0,08	0,00	0,30	0,00
57	232	15,23	8,78	9,35	5,94	9,78	0,00	0,00	0,46	0,00
58	236	15,36	8,78	9,35	6,00	9,78	0,00	0,00	0,46	0,00
59	240	15,49	8,78	9,35	6,06	9,78	0,00	0,00	0,39	0,00
60	244	15,62	8,78	9,35	6,11	9,78	0,00	0,00	0,39	0,00
61	248	15,75	8,78	9,35	6,16	9,78	0,00	0,00	0,40	0,00
62	252	15,87	8,78	9,35	6,21	9,78	0,00	0,00	0,40	-0,08
63	256	16,00	8,78	9,35	6,26	9,77	0,08	0,00	0,40	0,00
64	260	16,12	8,79	9,35	6,31	9,77	0,00	0,00	0,32	0,00
65	264	16,25	8,79	9,35	6,35	9,77	0,00	0,00	0,41	0,00
66	268	16,37	8,79	9,35	6,40	9,77	0,00	0,00	0,41	0,00
67	272	16,49	8,79	9,35	6,45	9,77	0,00	0,00	0,41	0,00
68	276	16,61	8,79	9,35	6,50	9,77	0,08	0,00	0,33	0,00
69	280	16,73	8,80	9,35	6,54	9,77	0,00	0,00	0,34	0,00
70	284	16,85	8,80	9,35	6,58	9,77	1,35	2,71	1,18	0,08
71	288	16,97	8,96	9,67	6,72	9,78	0,00	0,09	-0,09	0,09
72	292	17,09	8,96	9,68	6,71	9,79	0,00	0,09	0,09	0,17
73	296	17,20	8,96	9,69	6,72	9,81	0,00	0,00	0,17	0,09
74	300	17,32	8,96	9,69	6,74	9,82	0,00	0,09	0,17	0,09
75	304	17,44	8,96	9,70	6,76	9,83	0,00	0,00	0,09	0,17
76	308	17,55	8,96	9,70	6,77	9,85	0,00	0,18	0,09	0,18
77	312	17,66	8,96	9,72	6,78	9,87	0,00	0,00	0,09	0,09
78	316	17,78	8,96	9,72	6,79	9,88	0,00	0,18	0,09	0,09
79	320	17,89	8,96	9,74	6,80	9,89	0,00	0,00	0,09	0,09
80	324	18,00	8,96	9,74	6,81	9,90	0,00	0,09	0,00	0,09
81	328	18,11	8,96	9,75	6,81	9,91	0,00	0,00	0,09	0,00
82	332	18,22	8,96	9,75	6,82	9,91	0,00	0,00	0,09	0,27
83	336	18,33	8,96	9,75	6,83	9,94	0,00	0,09	0,09	0,09
84	340	18,44	8,96	9,76	6,84	9,95	0,00	0,00	0,09	0,00
85	344	18,55	8,96	9,76	6,85	9,95	0,00	0,00	0,09	0,09
86	348	18,65	8,96	9,76	6,86	9,96	0,00	0,00	0,09	0,00
87	352	18,76	8,96	9,76	6,87	9,96	0,00	0,00	0,09	0,00

88	356	18,87	8,96	9,76	6,88	9,96	0,00	0,00	0,09	0,09
89	360	18,97	8,96	9,76	6,89	9,97	0,00	0,10	0,10	0,10
90	364	19,08	8,96	9,77	6,90	9,98	0,00	0,00	0,10	0,00
91	368	19,18	8,96	9,77	6,91	9,98	0,00	0,00	0,00	0,10
92	372	19,29	8,96	9,77	6,91	9,99	0,00	0,00	0,00	0,00
93	376	19,39	8,96	9,77	6,91	9,99	0,00	0,00	0,00	0,10
94	380	19,49	8,96	9,77	6,91	10,00	0,00	0,00	0,10	0,00
95	384	19,60	8,96	9,77	6,92	10,00	0,29	0,10	4,03	0,49
96	388	19,70	8,99	9,78	7,33	10,05	0,00	0,00	0,20	0,00
97	392	19,80	8,99	9,78	7,35	10,05	3,08	0,10	0,40	0,00
98	396	19,90	9,30	9,79	7,39	10,05	0,10	0,00	0,40	0,00
99	400	20,00	9,31	9,79	7,43	10,05	0,00	0,00	0,20	0,00
100	404	20,10	9,31	9,79	7,45	10,05	0,00	0,10	0,40	0,00
101	408	20,20	9,31	9,80	7,49	10,05	0,00	0,00	0,20	0,00
102	412	20,30	9,31	9,80	7,51	10,05	0,00	0,00	0,31	0,00
103	416	20,40	9,31	9,80	7,54	10,05	0,00	-0,10	0,20	0,00
104	420	20,49	9,31	9,79	7,56	10,05	0,00	0,10	0,21	0,00
105	424	20,59	9,31	9,80	7,58	10,05	0,00	-0,10	0,21	0,00
106	428	20,69	9,31	9,79	7,60	10,05	0,00	0,00	0,21	0,10
107	432	20,78	9,31	9,79	7,62	10,06	0,00	0,00	0,10	0,00
108	436	20,88	9,31	9,79	7,63	10,06	0,00	0,00	0,10	0,00
109	440	20,98	9,31	9,79	7,64	10,06	0,00	0,00	0,21	0,00
110	444	21,07	9,31	9,79	7,66	10,06	0,00	0,00	0,11	0,00
111	448	21,17	9,31	9,79	7,67	10,06	0,00	0,00	0,11	0,11
112	452	21,26	9,31	9,79	7,68	10,07	0,00	0,00	0,00	0,00
113	456	21,35	9,31	9,79	7,68	10,07	0,00	0,00	0,11	0,00
114	460	21,45	9,31	9,79	7,69	10,07	0,00	0,11	0,00	0,11
115	464	21,54	9,31	9,80	7,69	10,08	0,00	0,00	0,00	0,00
116	468	21,63	9,31	9,80	7,69	10,08	0,00	0,00	0,00	0,00
117	472	21,73	9,31	9,80	7,69	10,08	0,00	0,00	0,00	0,11
118	476	21,82	9,31	9,80	7,69	10,09	0,00	0,00	0,00	0,11
119	480	21,91	9,31	9,80	7,69	10,10	0,77	0,22	0,00	0,44
120	484	22,00	9,38	9,82	7,69	10,14	0,00	0,00	0,00	0,00

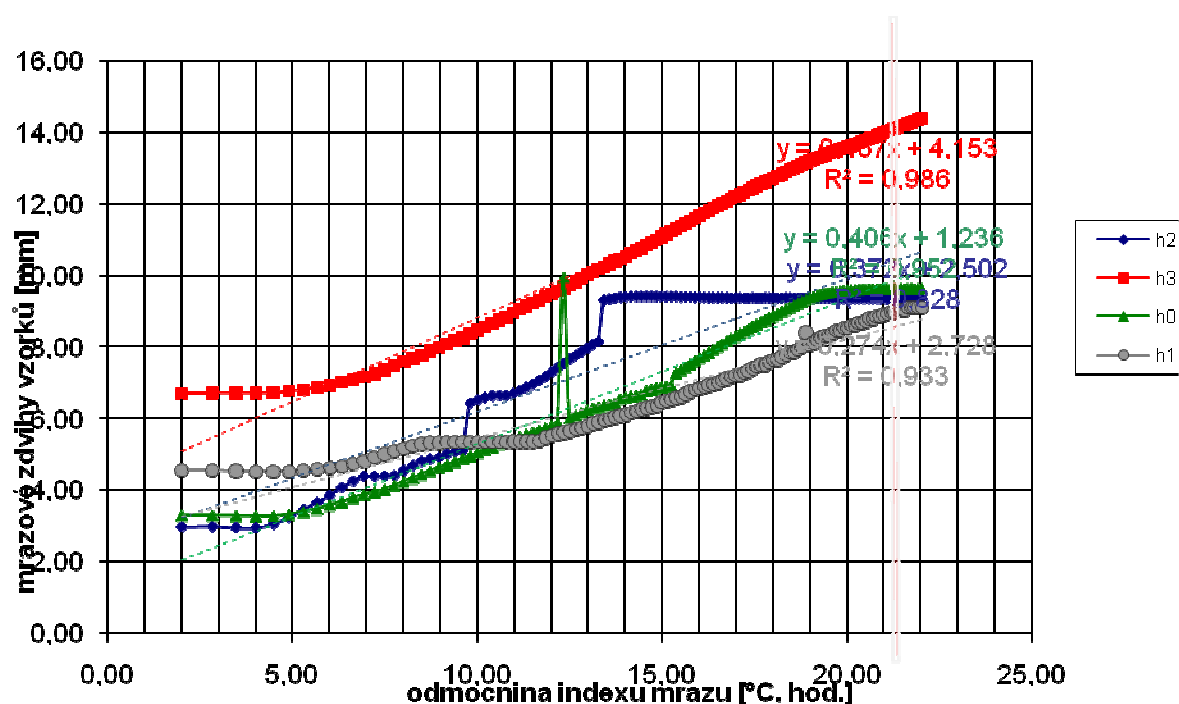
LABORATOŘ VUT FAST BRNO
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ
VEVEŘÍ 331/95, 602 00 BRNO

KVĚTEN 2015
VEDOUcí PRÁCE: Ing. DUŠAN STEHLÍK, Ph.D.
VYPRACOVALA: Bc. KATEŘINA SURÁ

VYHODNOCENÍ MÍRY NAMRZAVOSTI VZORKŮ

„UPRAVENOU METODOU“

VZOREK C
ŠTĚRKODRŤ A
METODA HUTNĚNÍ: PROCTOR MODIFIKOVANÝ, MOŽDÍŘ A
 $w_{OPT} = 2,8\%$
 $\rho_{max} = 1\,940 \text{ kg} \cdot \text{m}^3$



průměrná hodnota beta	0,26	0,44	0,34	0,28
celkový výsledek součinitele beta	0,33			

=>MÍRNĚ NAMRZAVÝ AŽ NAMRZAVÝ

hod.	lm	odm. lm	mrazové zdvihy				součinitel namrzavosti beta			
			h2	h3	h0	h1	beta 2	beta 3	beta 0	beta 1
0	4	2,00	2,97	6,72	3,31	4,57	0,01	0,01	0,00	0,00
1	8	2,83	2,98	6,73	3,31	4,57	-0,05	0,00	-0,02	-0,03
2	12	3,46	2,95	6,73	3,30	4,55	-0,02	0,00	-0,02	-0,02
3	16	4,00	2,94	6,73	3,29	4,54	0,23	0,02	0,00	0,00
4	20	4,47	3,05	6,74	3,29	4,54	0,45	0,09	0,12	0,00
5	24	4,90	3,24	6,78	3,34	4,54	0,56	0,13	0,18	0,08
6	28	5,29	3,46	6,83	3,41	4,57	0,52	0,16	0,22	0,08
7	32	5,66	3,65	6,89	3,49	4,60	0,58	0,17	0,32	0,12
8	36	6,00	3,85	6,95	3,60	4,64	0,68	0,25	0,28	0,12
9	40	6,32	4,07	7,03	3,69	4,68	0,58	0,23	0,36	0,19
10	44	6,63	4,25	7,10	3,80	4,74	0,47	0,24	0,31	0,27
11	48	6,93	4,39	7,17	3,89	4,82	0,00	0,35	0,28	0,35
12	52	7,21	4,39	7,27	3,97	4,92	0,00	0,37	0,26	0,33
13	56	7,48	4,39	7,37	4,04	5,01	0,04	0,46	0,38	0,34
14	60	7,75	4,40	7,49	4,14	5,10	0,59	0,43	0,39	0,28
15	64	8,00	4,55	7,60	4,24	5,17	0,57	0,41	0,45	0,28
16	68	8,25	4,69	7,70	4,35	5,24	0,50	0,38	0,42	0,25
17	72	8,49	4,81	7,79	4,45	5,30	0,26	0,52	0,43	0,13
18	76	8,72	4,87	7,91	4,55	5,33	0,18	0,40	0,40	0,04
19	80	8,94	4,91	8,00	4,64	5,34	0,45	0,50	0,36	0,05
20	84	9,17	5,01	8,11	4,72	5,35	0,32	0,37	0,37	0,00
21	88	9,38	5,08	8,19	4,80	5,35	0,09	0,38	0,43	0,00
22	92	9,59	5,10	8,27	4,89	5,35	6,50	0,53	0,39	0,00
23	96	9,80	6,44	8,38	4,97	5,35	0,40	0,49	0,45	0,00
24	100	10,00	6,52	8,48	5,06	5,35	0,40	0,50	0,40	0,00
25	104	10,20	6,60	8,58	5,14	5,35	0,21	0,46	0,41	0,00
26	108	10,39	6,64	8,67	5,22	5,35	0,05	0,47	0,47	0,00
27	112	10,58	6,65	8,76	5,31	5,35	0,00	0,43	0,37	0,00
28	116	10,77	6,65	8,84	5,38	5,35	0,27	0,65	0,33	0,05
29	120	10,95	6,70	8,96	5,44	5,36	0,50	0,66	0,33	0,00
30	124	11,14	6,79	9,08	5,50	5,36	0,51	0,45	0,39	0,06
31	128	11,31	6,88	9,16	5,57	5,37	0,51	0,51	0,34	0,00
32	132	11,49	6,97	9,25	5,63	5,37	0,64	0,46	0,35	0,12
33	136	11,66	7,08	9,33	5,69	5,39	0,59	0,59	0,35	0,53
34	140	11,83	7,18	9,43	5,75	5,48	0,71	0,36	0,36	0,30
35	144	12,00	7,30	9,49	5,81	5,53	0,79	0,42	0,42	0,30
36	148	12,17	7,43	9,56	5,88	5,58	0,73	0,61	24,92	0,24
37	152	12,33	7,55	9,66	9,95	5,62	0,74	0,56	-24,38	0,25
38	156	12,49	7,67	9,75	6,02	5,66	0,63	0,57	0,50	0,25
39	160	12,65	7,77	9,84	6,10	5,70	0,70	0,51	0,45	0,25
40	164	12,81	7,88	9,92	6,17	5,74	0,58	0,71	0,45	0,32
41	168	12,96	7,97	10,03	6,24	5,79	0,72	0,46	0,39	0,52
42	172	13,11	8,08	10,10	6,30	5,87	0,53	0,46	0,26	0,26

43	176	13,27	8,16	10,17	6,34	5,91	7,74	0,53	0,27	0,27
44	180	13,42	9,32	10,25	6,38	5,95	0,20	0,61	0,20	0,27
45	184	13,56	9,35	10,34	6,41	5,99	0,20	0,48	0,14	0,34
46	188	13,71	9,38	10,41	6,43	6,04	0,14	0,41	0,90	0,28
47	192	13,86	9,40	10,47	6,56	6,08	0,07	0,49	0,28	0,28
48	196	14,00	9,41	10,54	6,60	6,12	0,07	0,63	0,28	0,35
49	200	14,14	9,42	10,63	6,64	6,17	0,00	0,57	0,14	0,28
50	204	14,28	9,42	10,71	6,66	6,21	0,00	0,43	0,07	0,29
51	208	14,42	9,42	10,77	6,67	6,25	0,00	0,58	0,87	0,29
52	212	14,56	9,42	10,85	6,79	6,29	0,00	0,59	0,29	0,29
53	216	14,70	9,42	10,93	6,83	6,33	0,00	0,52	0,30	0,30
54	220	14,83	9,42	11,00	6,87	6,37	0,00	0,60	0,15	0,60
55	224	14,97	9,42	11,08	6,89	6,45	0,00	0,60	0,15	0,30
56	228	15,10	9,42	11,16	6,91	6,49	0,00	0,61	0,08	0,30
57	232	15,23	9,42	11,24	6,92	6,53	0,00	0,61	2,83	0,38
58	236	15,36	9,42	11,32	7,29	6,58	-0,08	0,62	0,62	0,31
59	240	15,49	9,41	11,40	7,37	6,62	0,00	0,47	0,54	0,47
60	244	15,62	9,41	11,46	7,44	6,68	0,00	0,55	0,78	0,55
61	248	15,75	9,41	11,53	7,54	6,75	-0,08	0,63	0,63	0,47
62	252	15,87	9,40	11,61	7,62	6,81	0,00	0,56	0,64	0,32
63	256	16,00	9,40	11,68	7,70	6,85	0,00	0,48	0,64	0,32
64	260	16,12	9,40	11,74	7,78	6,89	-0,08	0,57	0,65	0,32
65	264	16,25	9,39	11,81	7,86	6,93	0,00	0,57	0,65	0,24
66	268	16,37	9,39	11,88	7,94	6,96	0,00	0,58	0,66	0,41
67	272	16,49	9,39	11,95	8,02	7,01	0,00	0,50	0,58	0,41
68	276	16,61	9,39	12,01	8,09	7,06	0,00	0,50	0,67	0,42
69	280	16,73	9,39	12,07	8,17	7,11	-0,08	0,59	0,59	0,50
70	284	16,85	9,38	12,14	8,24	7,17	0,00	0,68	0,59	0,34
71	288	16,97	9,38	12,22	8,31	7,21	0,00	0,34	0,60	0,09
72	292	17,09	9,38	12,26	8,38	7,22	0,00	0,51	0,60	0,51
73	296	17,20	9,38	12,32	8,45	7,28	0,00	0,60	0,52	0,43
74	300	17,32	9,38	12,39	8,51	7,33	0,00	0,43	0,61	0,52
75	304	17,44	9,38	12,44	8,58	7,39	0,00	0,61	0,52	0,52
76	308	17,55	9,38	12,51	8,64	7,45	0,00	0,44	0,62	0,44
77	312	17,66	9,38	12,56	8,71	7,50	0,00	0,53	0,44	0,09
78	316	17,78	9,38	12,62	8,76	7,51	0,00	0,53	0,62	0,53
79	320	17,89	9,38	12,68	8,83	7,57	0,00	0,36	0,45	0,54
80	324	18,00	9,38	12,72	8,88	7,63	0,00	0,63	0,54	0,09
81	328	18,11	9,38	12,79	8,94	7,64	0,00	0,36	0,64	0,64
82	332	18,22	9,38	12,83	9,01	7,71	0,00	0,55	0,46	0,64
83	336	18,33	9,38	12,89	9,06	7,78	0,00	0,55	0,55	0,55
84	340	18,44	9,38	12,95	9,12	7,84	0,00	0,37	0,46	0,00
85	344	18,55	9,38	12,99	9,17	7,84	0,00	0,56	0,56	0,65
86	348	18,65	9,38	13,05	9,23	7,91	0,00	0,56	0,47	0,65
87	352	18,76	9,38	13,11	9,28	7,98	-0,09	0,38	0,47	3,95

88	356	18,87	9,37	13,15	9,33	8,40	0,00	0,47	0,47	-3,31
89	360	18,97	9,37	13,20	9,38	8,05	0,00	0,48	0,29	0,57
90	364	19,08	9,37	13,25	9,41	8,11	0,00	0,29	0,38	0,67
91	368	19,18	9,37	13,28	9,45	8,18	0,00	0,38	0,29	0,67
92	372	19,29	9,37	13,32	9,48	8,25	0,00	0,48	0,19	0,58
93	376	19,39	9,37	13,37	9,50	8,31	0,00	0,49	0,19	0,00
94	380	19,49	9,37	13,42	9,52	8,31	0,00	0,29	0,20	0,68
95	384	19,60	9,37	13,45	9,54	8,38	0,00	0,29	0,10	0,59
96	388	19,70	9,37	13,48	9,55	8,44	0,00	0,39	0,10	0,00
97	392	19,80	9,37	13,52	9,56	8,44	0,00	0,30	0,10	0,79
98	396	19,90	9,37	13,55	9,57	8,52	0,00	0,40	0,10	0,00
99	400	20,00	9,37	13,59	9,58	8,52	0,00	0,30	0,10	0,70
100	404	20,10	9,37	13,62	9,59	8,59	0,00	0,40	0,00	0,10
101	408	20,20	9,37	13,66	9,59	8,60	0,00	0,40	0,10	0,61
102	412	20,30	9,37	13,70	9,60	8,66	0,00	0,51	0,10	0,00
103	416	20,40	9,37	13,75	9,61	8,66	0,00	0,31	0,00	0,61
104	420	20,49	9,37	13,78	9,61	8,72	0,00	0,51	0,10	0,62
105	424	20,59	9,37	13,83	9,62	8,78	0,00	0,31	0,00	0,00
106	428	20,69	9,37	13,86	9,62	8,78	0,00	0,41	0,00	0,62
107	432	20,78	9,37	13,90	9,62	8,84	-0,10	0,62	0,10	0,00
108	436	20,88	9,36	13,96	9,63	8,84	0,00	0,42	0,00	0,63
109	440	20,98	9,36	14,00	9,63	8,90	0,00	0,32	0,00	0,11
110	444	21,07	9,36	14,03	9,63	8,91	0,00	0,42	0,00	0,53
111	448	21,17	9,36	14,07	9,63	8,96	0,00	0,32	0,00	0,00
112	452	21,26	9,36	14,10	9,63	8,96	0,00	0,43	0,00	0,64
113	456	21,35	9,36	14,14	9,63	9,02	0,00	0,32	0,00	0,00
114	460	21,45	9,36	14,17	9,63	9,02	0,00	0,43	0,00	0,00
115	464	21,54	9,36	14,21	9,63	9,02	0,00	0,32	0,00	0,65
116	468	21,63	9,36	14,24	9,63	9,08	0,00	0,43	0,00	0,00
117	472	21,73	9,36	14,28	9,63	9,08	0,00	0,44	0,00	0,00
118	476	21,82	9,36	14,32	9,63	9,08	0,00	0,44	0,00	0,00
119	480	21,91	9,36	14,36	9,63	9,08	0,00	0,22	0,00	0,00
120	484	22,00	9,36	14,38	9,63	9,08	0,00	0,00	0,00	0,00

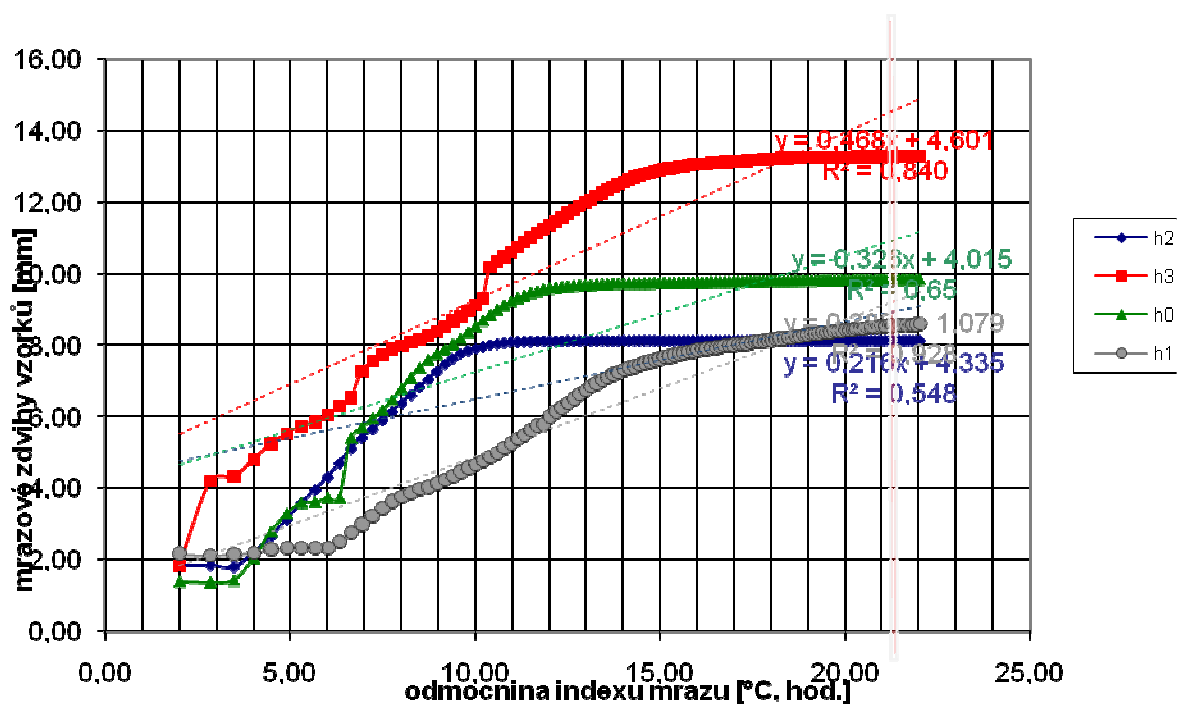
LABORATOŘ VUT FAST BRNO
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ
VEVEŘÍ 331/95, 602 00 BRNO

KVĚTEN 2015
VEDOUcí PRÁCE: Ing. DUŠAN STEHLÍK, Ph.D.
VYPRACOVALA: Bc. KATEŘINA SURÁ

VYHODNOCENÍ MÍRY NAMRZAVOSTI VZORKŮ

„UPRAVENOU METODOU“

VZOREK D
MECHANICKY ZPEVNĚNÉ KAMENIVO
METODA HUTNĚNÍ: PROCTOR MODIFIKOVANÝ, MOŽDÍŘ A
 $w_{OPT} = 2,0\%$
 $\rho_{max} = 1\,970 \text{ kg} \cdot \text{m}^3$



průměrná hodnota beta	0,18	0,37	0,26	0,30
celkový výsledek součinitele beta	0,28			

=>MÍRNĚ NAMRZAVÝ AŽ NAMRZAVÝ

hod.	lm	odm. lm	mrazové zdvihy				součinitel namrzavosti beta			
			h2	h3	h0	h1	beta 2	beta 3	beta 0	beta 1
0	4	2,00	1,85	1,84	1,40	2,16	-0,01	2,84	-0,02	-0,05
1	8	2,83	1,84	4,19	1,38	2,12	-0,08	0,22	0,09	0,03
2	12	3,46	1,79	4,33	1,44	2,14	0,75	0,88	1,16	0,07
3	16	4,00	2,19	4,80	2,06	2,18	0,97	0,95	1,57	0,23
4	20	4,47	2,65	5,25	2,80	2,29	1,10	0,66	1,17	0,09
5	24	4,90	3,12	5,53	3,30	2,33	1,20	0,54	0,79	0,00
6	28	5,29	3,59	5,74	3,61	2,33	0,96	0,33	0,05	0,00
7	32	5,66	3,94	5,86	3,63	2,33	1,08	0,58	0,32	0,00
8	36	6,00	4,31	6,06	3,74	2,33	1,20	0,77	0,00	0,55
9	40	6,32	4,70	6,31	3,74	2,51	1,33	0,75	5,41	0,78
10	44	6,63	5,11	6,54	5,41	2,75	1,02	2,51	1,02	0,81
11	48	6,93	5,41	7,28	5,71	2,99	0,85	0,95	0,88	0,81
12	52	7,21	5,65	7,55	5,96	3,22	0,92	0,73	0,84	0,77
13	56	7,48	5,90	7,75	6,19	3,43	0,91	0,57	1,10	0,76
14	60	7,75	6,14	7,90	6,48	3,63	0,94	0,39	1,26	0,51
15	64	8,00	6,38	8,00	6,80	3,76	0,93	0,37	1,26	0,45
16	68	8,25	6,61	8,09	7,11	3,87	0,96	0,38	1,17	0,42
17	72	8,49	6,84	8,18	7,39	3,97	0,90	0,39	0,90	0,26
18	76	8,72	7,05	8,27	7,60	4,03	0,97	0,53	0,71	0,44
19	80	8,94	7,27	8,39	7,76	4,13	0,95	0,59	0,63	0,45
20	84	9,17	7,48	8,52	7,90	4,23	0,74	0,79	0,65	0,51
21	88	9,38	7,64	8,69	8,04	4,34	0,62	0,57	0,76	0,57
22	92	9,59	7,77	8,81	8,20	4,46	0,44	0,73	0,82	0,53
23	96	9,80	7,86	8,96	8,37	4,57	0,30	0,89	0,79	0,45
24	100	10,00	7,92	9,14	8,53	4,66	0,25	0,91	0,86	0,45
25	104	10,20	7,97	9,32	8,70	4,75	0,26	4,43	0,82	0,62
26	108	10,39	8,02	10,18	8,86	4,87	0,16	0,84	0,73	0,58
27	112	10,58	8,05	10,34	9,00	4,98	0,16	0,75	0,64	0,69
28	116	10,77	8,08	10,48	9,12	5,11	0,11	0,71	0,60	0,71
29	120	10,95	8,10	10,61	9,23	5,24	0,06	0,72	0,50	0,66
30	124	11,14	8,11	10,74	9,32	5,36	0,06	0,79	0,45	0,67
31	128	11,31	8,12	10,88	9,40	5,48	0,00	0,74	0,46	0,74
32	132	11,49	8,12	11,01	9,48	5,61	0,06	0,69	0,23	0,75
33	136	11,66	8,13	11,13	9,52	5,74	0,00	0,70	0,29	0,23
34	140	11,83	8,13	11,25	9,57	5,78	0,00	0,60	0,18	1,31
35	144	12,00	8,13	11,35	9,60	6,00	0,00	0,66	0,12	0,79
36	148	12,17	8,13	11,46	9,62	6,13	0,06	0,67	0,12	0,73
37	152	12,33	8,14	11,57	9,64	6,25	0,00	0,74	0,12	0,74
38	156	12,49	8,14	11,69	9,66	6,37	0,00	0,63	0,06	0,82
39	160	12,65	8,14	11,79	9,67	6,50	0,00	0,57	0,13	0,76
40	164	12,81	8,14	11,88	9,69	6,62	0,00	0,71	0,00	0,71
41	168	12,96	8,14	11,99	9,69	6,73	0,00	0,59	0,07	0,65
42	172	13,11	8,14	12,08	9,70	6,83	0,00	0,66	0,07	0,59

43	176	13,27	8,14	12,18	9,71	6,92	0,00	0,60	0,07	0,60
44	180	13,42	8,14	12,27	9,72	7,01	0,00	0,54	0,00	0,54
45	184	13,56	8,14	12,35	9,72	7,09	0,00	0,48	0,14	0,55
46	188	13,71	8,14	12,42	9,74	7,17	0,00	0,62	0,00	0,41
47	192	13,86	8,14	12,51	9,74	7,23	0,00	0,42	0,00	0,49
48	196	14,00	8,14	12,57	9,74	7,30	0,00	0,49	0,00	0,35
49	200	14,14	8,14	12,64	9,74	7,35	0,00	0,36	0,00	0,28
50	204	14,28	8,14	12,69	9,74	7,39	0,00	0,36	0,00	0,36
51	208	14,42	8,14	12,74	9,74	7,44	0,00	0,36	0,00	0,36
52	212	14,56	8,14	12,79	9,74	7,49	0,00	0,22	0,00	0,29
53	216	14,70	8,14	12,82	9,74	7,53	0,00	0,30	0,07	0,30
54	220	14,83	8,14	12,86	9,75	7,57	0,00	0,22	0,00	0,30
55	224	14,97	8,14	12,89	9,75	7,61	0,00	0,23	0,08	0,30
56	228	15,10	8,14	12,92	9,76	7,65	0,00	0,23	0,00	0,23
57	232	15,23	8,14	12,95	9,76	7,68	0,00	0,15	0,00	0,23
58	236	15,36	8,14	12,97	9,76	7,71	0,00	0,15	0,00	0,23
59	240	15,49	8,14	12,99	9,76	7,74	0,00	0,16	0,08	0,23
60	244	15,62	8,14	13,01	9,77	7,77	0,00	0,24	0,00	0,24
61	248	15,75	8,14	13,04	9,77	7,80	0,00	0,08	0,00	0,16
62	252	15,87	8,14	13,05	9,77	7,82	0,00	0,08	0,00	0,24
63	256	16,00	8,14	13,06	9,77	7,85	0,00	0,08	0,00	0,24
64	260	16,12	8,14	13,07	9,77	7,88	0,00	0,08	0,00	0,08
65	264	16,25	8,14	13,08	9,77	7,89	0,00	0,16	0,08	0,16
66	268	16,37	8,14	13,10	9,78	7,91	0,00	0,00	0,00	0,16
67	272	16,49	8,14	13,10	9,78	7,93	0,00	0,08	0,00	0,17
68	276	16,61	8,14	13,11	9,78	7,95	0,00	0,08	0,00	0,17
69	280	16,73	8,14	13,12	9,78	7,97	0,00	0,08	0,00	0,08
70	284	16,85	8,14	13,13	9,78	7,98	0,00	0,08	0,08	0,08
71	288	16,97	8,14	13,14	9,79	7,99	0,00	0,00	0,00	0,17
72	292	17,09	8,14	13,14	9,79	8,01	0,00	0,09	0,00	0,00
73	296	17,20	8,14	13,15	9,79	8,01	0,00	0,09	0,00	0,26
74	300	17,32	8,14	13,16	9,79	8,04	0,00	0,09	0,09	0,09
75	304	17,44	8,14	13,17	9,80	8,05	0,00	0,00	0,00	0,26
76	308	17,55	8,14	13,17	9,80	8,08	0,00	0,18	0,00	0,09
77	312	17,66	8,14	13,19	9,80	8,09	0,00	0,09	0,00	0,18
78	316	17,78	8,14	13,20	9,80	8,11	0,00	0,00	0,09	0,18
79	320	17,89	8,14	13,20	9,81	8,13	0,00	0,09	0,00	0,09
80	324	18,00	8,14	13,21	9,81	8,14	0,00	0,09	0,00	0,09
81	328	18,11	8,14	13,22	9,81	8,15	0,00	0,00	0,00	0,18
82	332	18,22	8,14	13,22	9,81	8,17	0,00	0,09	0,00	0,09
83	336	18,33	8,14	13,23	9,81	8,18	0,00	0,00	0,00	0,18
84	340	18,44	8,14	13,23	9,81	8,20	0,00	0,09	0,00	0,09
85	344	18,55	8,14	13,24	9,81	8,21	0,00	0,00	0,09	0,19
86	348	18,65	8,14	13,24	9,82	8,23	0,00	0,00	-0,09	0,09
87	352	18,76	8,14	13,24	9,81	8,24	0,00	0,00	0,09	0,19

88	356	18,87	8,14	13,24	9,82	8,26	0,00	0,09	0,00	0,19
89	360	18,97	8,14	13,25	9,82	8,28	0,00	0,00	0,00	0,19
90	364	19,08	8,14	13,25	9,82	8,30	0,00	0,00	0,00	0,10
91	368	19,18	8,14	13,25	9,82	8,31	0,00	0,00	0,00	0,10
92	372	19,29	8,14	13,25	9,82	8,32	0,00	0,00	0,10	0,19
93	376	19,39	8,14	13,25	9,83	8,34	0,00	0,00	0,00	0,00
94	380	19,49	8,14	13,25	9,83	8,34	0,00	0,00	0,00	0,10
95	384	19,60	8,14	13,25	9,83	8,35	0,00	0,00	0,00	0,20
96	388	19,70	8,14	13,25	9,83	8,37	0,00	0,10	0,00	0,10
97	392	19,80	8,14	13,26	9,83	8,38	0,00	0,00	0,00	0,10
98	396	19,90	8,14	13,26	9,83	8,39	0,00	0,00	0,00	0,10
99	400	20,00	8,14	13,26	9,83	8,40	0,00	0,00	0,00	0,10
100	404	20,10	8,14	13,26	9,83	8,41	0,00	0,00	0,10	0,10
101	408	20,20	8,14	13,26	9,84	8,42	0,00	0,10	0,00	0,20
102	412	20,30	8,14	13,27	9,84	8,44	0,00	0,00	0,00	0,00
103	416	20,40	8,14	13,27	9,84	8,44	0,00	0,00	0,00	0,10
104	420	20,49	8,14	13,27	9,84	8,45	0,00	0,00	0,00	0,21
105	424	20,59	8,14	13,27	9,84	8,47	0,00	0,00	0,00	0,10
106	428	20,69	8,14	13,27	9,84	8,48	0,00	0,00	0,00	0,10
107	432	20,78	8,14	13,27	9,84	8,49	0,00	0,00	0,00	0,10
108	436	20,88	8,14	13,27	9,84	8,50	0,00	0,00	0,10	0,10
109	440	20,98	8,14	13,27	9,85	8,51	0,00	0,00	0,00	0,11
110	444	21,07	8,14	13,27	9,85	8,52	0,00	0,00	0,00	0,11
111	448	21,17	8,14	13,27	9,85	8,53	0,00	0,00	0,00	0,00
112	452	21,26	8,14	13,27	9,85	8,53	0,00	0,11	0,00	0,11
113	456	21,35	8,14	13,28	9,85	8,54	0,00	0,00	0,00	0,11
114	460	21,45	8,14	13,28	9,85	8,55	0,00	0,00	0,00	0,00
115	464	21,54	8,14	13,28	9,85	8,55	0,00	0,00	0,00	0,11
116	468	21,63	8,14	13,28	9,85	8,56	0,00	0,00	0,00	0,00
117	472	21,73	8,14	13,28	9,85	8,56	0,00	0,00	0,00	0,00
118	476	21,82	8,14	13,28	9,85	8,56	0,00	0,00	0,00	0,11
119	480	21,91	8,14	13,28	9,85	8,57	0,00	0,00	0,00	0,11
120	484	22,00	8,14	13,28	9,85	8,58	0,00	0,00	0,00	0,00

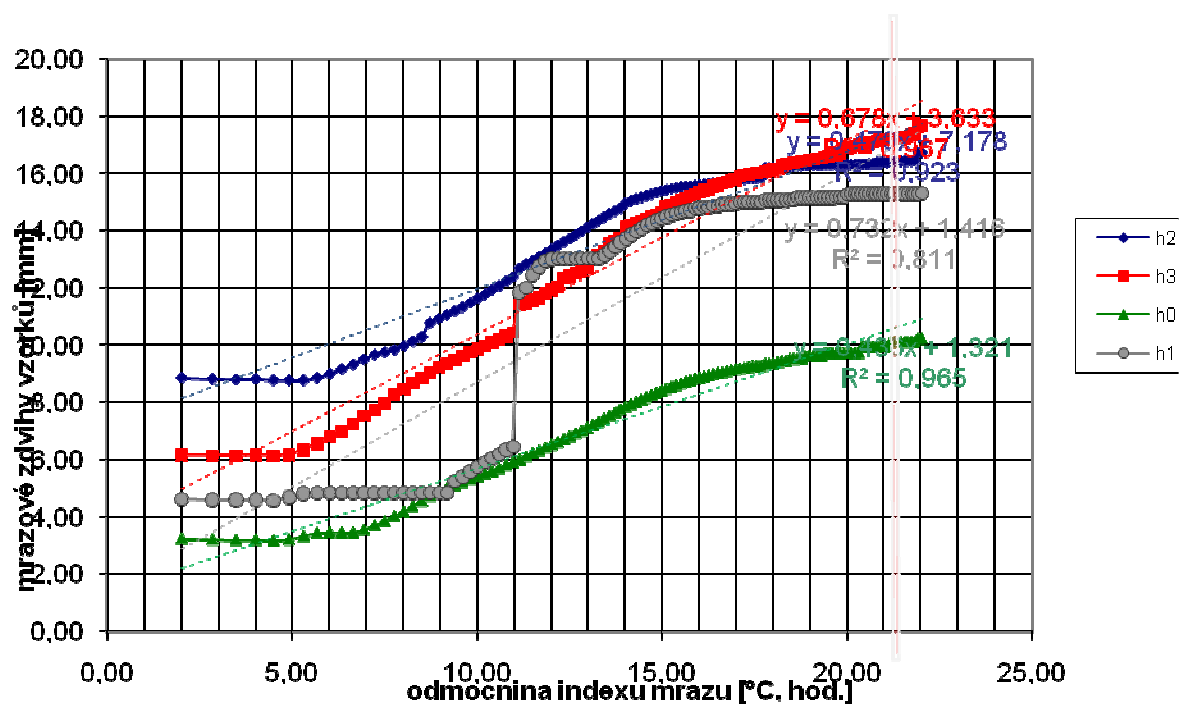
LABORATOŘ VUT FAST BRNO
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ
VEVEŘÍ 331/95, 602 00 BRNO

KVĚTEN 2015
VEDOUcí PRÁCE: Ing. DUŠAN STEHLÍK, Ph.D.
VYPRACOVALA: Bc. KATEŘINA SURÁ

VYHODNOCENÍ MÍRY NAMRZAVOSTI VZORKŮ

„UPRAVENOU METODOU“

VZOREK E
ŠTĚRKODRŤ A
METODA HUTNĚNÍ: PROCTOR MODIFIKOVANÝ, MOŽDÍŘ A
 $w_{OPT} = 1,9\%$
 $\rho_{max} = 1\,960 \text{ kg} \cdot \text{m}^3$



průměrná hodnota beta	0,39	0,59	0,37	0,52
celkový výsledek součinitele beta	0,47			

=>MÍRNĚ NAMRZAVÝ AŽ NAMRZAVÝ

hod.	lm	odm. lm	mrazové zdvihy				součinitel namrzavosti beta			
			h2	h3	h0	h1	beta 2	beta 3	beta 0	beta 1
0	4	2,00	8,86	6,17	3,24	4,62	-0,05	-0,01	-0,04	-0,04
1	8	2,83	8,82	6,16	3,21	4,59	-0,02	0,00	-0,02	0,00
2	12	3,46	8,81	6,16	3,20	4,59	0,02	0,02	0,00	0,00
3	16	4,00	8,82	6,17	3,20	4,59	-0,08	-0,02	-0,04	-0,02
4	20	4,47	8,78	6,16	3,18	4,58	0,00	0,05	0,07	0,23
5	24	4,90	8,78	6,18	3,21	4,68	0,00	0,43	0,31	0,33
6	28	5,29	8,78	6,35	3,33	4,81	0,22	0,60	0,30	0,11
7	32	5,66	8,86	6,57	3,44	4,85	0,41	0,70	0,06	0,00
8	36	6,00	9,00	6,81	3,46	4,85	0,52	0,59	0,00	0,00
9	40	6,32	9,17	7,00	3,46	4,85	0,52	0,91	0,00	-0,03
10	44	6,63	9,33	7,28	3,46	4,84	0,61	0,85	0,34	0,00
11	48	6,93	9,51	7,53	3,56	4,84	0,57	0,78	0,53	0,00
12	52	7,21	9,67	7,75	3,71	4,84	0,33	0,84	0,51	0,00
13	56	7,48	9,76	7,98	3,85	4,84	0,30	1,22	0,69	0,00
14	60	7,75	9,84	8,30	4,03	4,84	0,55	0,67	0,59	0,00
15	64	8,00	9,98	8,47	4,18	4,84	0,65	0,89	0,77	0,00
16	68	8,25	10,14	8,69	4,37	4,84	0,67	0,79	0,79	0,00
17	72	8,49	10,30	8,88	4,56	4,84	2,11	0,77	0,77	0,00
18	76	8,72	10,79	9,06	4,74	4,84	0,62	0,71	0,66	0,00
19	80	8,94	10,93	9,22	4,89	4,84	0,63	0,68	0,54	0,00
20	84	9,17	11,07	9,37	5,01	4,84	0,60	0,65	0,46	1,85
21	88	9,38	11,20	9,51	5,11	5,24	0,66	0,62	0,52	0,76
22	92	9,59	11,34	9,64	5,22	5,40	0,73	0,63	0,48	0,82
23	96	9,80	11,49	9,77	5,32	5,57	0,74	0,54	0,49	0,84
24	100	10,00	11,64	9,88	5,42	5,74	0,76	0,56	0,45	0,86
25	104	10,20	11,79	9,99	5,51	5,91	0,77	0,57	0,51	0,72
26	108	10,39	11,94	10,10	5,61	6,05	0,73	0,58	0,52	0,73
27	112	10,58	12,08	10,21	5,71	6,19	0,85	0,64	0,53	0,75
28	116	10,77	12,24	10,33	5,81	6,33	0,81	0,65	0,65	0,71
29	120	10,95	12,39	10,45	5,93	6,46	1,71	5,30	0,50	29,71
30	124	11,14	12,70	11,41	6,02	11,84	0,84	0,45	0,62	0,95
31	128	11,31	12,85	11,49	6,13	12,01	0,68	0,51	0,63	2,45
32	132	11,49	12,97	11,58	6,24	12,44	0,75	0,52	0,58	1,74
33	136	11,66	13,10	11,67	6,34	12,74	0,82	0,88	0,59	1,17
34	140	11,83	13,24	11,82	6,44	12,94	0,77	0,71	0,60	0,36
35	144	12,00	13,37	11,94	6,54	13,00	0,79	0,54	0,54	0,18
36	148	12,17	13,50	12,03	6,63	13,03	0,73	2,02	0,67	0,00
37	152	12,33	13,62	12,36	6,74	13,03	0,74	0,43	0,62	0,00
38	156	12,49	13,74	12,43	6,84	13,03	0,82	0,63	0,63	0,00
39	160	12,65	13,87	12,53	6,94	13,03	0,89	0,38	0,57	0,00
40	164	12,81	14,01	12,59	7,03	13,03	0,77	0,45	0,64	0,00
41	168	12,96	14,13	12,66	7,13	13,03	0,78	2,48	0,65	0,00
42	172	13,11	14,25	13,04	7,23	13,03	0,79	0,73	0,73	0,00

43	176	13,27	14,37	13,15	7,34	13,03	0,80	0,87	0,73	0,73
44	180	13,42	14,49	13,28	7,45	13,14	0,81	1,96	0,74	0,94
45	184	13,56	14,61	13,57	7,56	13,28	0,61	0,55	0,75	1,02
46	188	13,71	14,70	13,65	7,67	13,43	0,69	0,48	0,76	1,10
47	192	13,86	14,80	13,72	7,78	13,59	1,25	2,92	0,63	0,97
48	196	14,00	14,98	14,14	7,87	13,73	0,56	0,42	0,63	0,91
49	200	14,14	15,06	14,20	7,96	13,86	0,50	0,50	0,57	0,78
50	204	14,28	15,13	14,27	8,04	13,97	0,36	0,43	0,57	0,79
51	208	14,42	15,18	14,33	8,12	14,08	0,51	0,58	0,58	0,72
52	212	14,56	15,25	14,41	8,20	14,18	0,37	0,51	0,59	0,59
53	216	14,70	15,30	14,48	8,28	14,26	0,37	0,52	0,59	0,59
54	220	14,83	15,35	14,55	8,36	14,34	0,37	0,52	0,60	0,52
55	224	14,97	15,40	14,62	8,44	14,41	0,38	1,73	0,53	0,53
56	228	15,10	15,45	14,85	8,51	14,48	0,30	0,45	0,53	0,45
57	232	15,23	15,49	14,91	8,58	14,54	0,23	0,54	0,46	0,46
58	236	15,36	15,52	14,98	8,64	14,60	0,23	0,69	0,39	0,31
59	240	15,49	15,55	15,07	8,69	14,64	0,08	0,47	0,54	0,39
60	244	15,62	15,56	15,13	8,76	14,69	0,16	0,55	0,39	0,16
61	248	15,75	15,58	15,20	8,81	14,71	0,08	0,55	0,40	0,40
62	252	15,87	15,59	15,27	8,86	14,76	0,24	0,72	0,32	0,24
63	256	16,00	15,62	15,36	8,90	14,79	0,24	0,40	0,32	0,16
64	260	16,12	15,65	15,41	8,94	14,81	0,16	0,32	0,32	0,08
65	264	16,25	15,67	15,45	8,98	14,82	0,08	0,73	0,33	0,41
66	268	16,37	15,68	15,54	9,02	14,87	0,16	0,41	0,41	0,00
67	272	16,49	15,70	15,59	9,07	14,87	0,25	0,58	0,17	0,41
68	276	16,61	15,73	15,66	9,09	14,92	0,17	0,33	0,33	0,08
69	280	16,73	15,75	15,70	9,13	14,93	0,17	0,34	0,34	0,00
70	284	16,85	15,77	15,74	9,17	14,93	0,08	0,25	0,17	0,08
71	288	16,97	15,78	15,77	9,19	14,94	0,17	0,94	0,34	0,43
72	292	17,09	15,80	15,88	9,23	14,99	0,17	0,34	0,09	0,00
73	296	17,20	15,82	15,92	9,24	14,99	0,17	0,26	0,26	0,00
74	300	17,32	15,84	15,95	9,27	14,99	0,09	0,17	0,26	0,00
75	304	17,44	15,85	15,97	9,30	14,99	0,09	0,26	0,00	0,09
76	308	17,55	15,86	16,00	9,30	15,00	0,09	0,26	0,09	0,00
77	312	17,66	15,87	16,03	9,31	15,00	3,01	0,27	0,62	0,53
78	316	17,78	16,21	16,06	9,38	15,06	0,00	0,27	0,00	0,09
79	320	17,89	16,21	16,09	9,38	15,07	0,09	0,36	0,00	0,00
80	324	18,00	16,22	16,13	9,38	15,07	0,18	0,18	0,72	0,00
81	328	18,11	16,24	16,15	9,46	15,07	0,09	1,18	0,09	0,00
82	332	18,22	16,25	16,28	9,47	15,07	0,00	0,27	0,00	0,00
83	336	18,33	16,25	16,31	9,47	15,07	0,09	0,18	0,83	0,09
84	340	18,44	16,26	16,33	9,56	15,08	0,09	0,18	0,00	0,00
85	344	18,55	16,27	16,35	9,56	15,08	0,09	0,28	0,00	0,65
86	348	18,65	16,28	16,38	9,56	15,15	0,00	0,19	0,00	0,09
87	352	18,76	16,28	16,40	9,56	15,16	0,09	0,28	0,85	0,00

88	356	18,87	16,29	16,43	9,65	15,16	0,09	0,19	0,09	0,00
89	360	18,97	16,30	16,45	9,66	15,16	0,10	0,19	0,00	0,00
90	364	19,08	16,31	16,47	9,66	15,16	0,00	0,29	0,00	0,00
91	368	19,18	16,31	16,50	9,66	15,16	0,00	0,19	0,00	0,00
92	372	19,29	16,31	16,52	9,66	15,16	0,10	0,19	0,97	0,00
93	376	19,39	16,32	16,54	9,76	15,16	0,00	0,29	0,00	0,00
94	380	19,49	16,32	16,57	9,76	15,16	0,00	0,20	0,00	0,00
95	384	19,60	16,32	16,59	9,76	15,16	0,00	0,29	0,00	0,10
96	388	19,70	16,32	16,62	9,76	15,17	0,00	0,39	0,00	0,00
97	392	19,80	16,32	16,66	9,76	15,17	0,00	1,98	0,00	0,00
98	396	19,90	16,32	16,86	9,76	15,17	0,00	0,30	0,00	0,90
99	400	20,00	16,32	16,89	9,76	15,26	0,00	0,20	0,00	0,20
100	404	20,10	16,32	16,91	9,76	15,28	0,00	0,30	0,00	0,00
101	408	20,20	16,32	16,94	9,76	15,28	0,10	0,30	0,00	0,00
102	412	20,30	16,33	16,97	9,76	15,28	0,00	0,20	2,34	0,00
103	416	20,40	16,33	16,99	9,99	15,28	0,10	0,61	0,00	0,00
104	420	20,49	16,34	17,05	9,99	15,28	0,10	0,21	0,00	0,00
105	424	20,59	16,35	17,07	9,99	15,28	0,00	0,21	0,00	0,00
106	428	20,69	16,35	17,09	9,99	15,28	0,52	0,41	0,00	0,00
107	432	20,78	16,40	17,13	9,99	15,28	0,00	0,21	0,00	0,00
108	436	20,88	16,40	17,15	9,99	15,28	0,10	0,10	0,00	0,00
109	440	20,98	16,41	17,16	9,99	15,28	0,00	0,21	0,00	0,00
110	444	21,07	16,41	17,18	9,99	15,28	0,11	0,21	1,58	0,00
111	448	21,17	16,42	17,20	10,14	15,28	0,11	0,11	0,00	0,00
112	452	21,26	16,43	17,21	10,14	15,28	0,11	0,21	0,00	0,00
113	456	21,35	16,44	17,23	10,14	15,28	0,11	0,11	0,00	0,11
114	460	21,45	16,45	17,24	10,14	15,29	0,00	0,11	0,00	0,00
115	464	21,54	16,45	17,25	10,14	15,29	0,11	0,22	0,00	0,00
116	468	21,63	16,46	17,27	10,14	15,29	0,00	0,87	0,00	0,00
117	472	21,73	16,46	17,35	10,14	15,29	0,11	0,22	0,11	0,00
118	476	21,82	16,47	17,37	10,15	15,29	2,95	2,95	1,31	0,00
119	480	21,91	16,74	17,64	10,27	15,29	0,11	0,22	0,00	0,11
120	484	22,00	16,75	17,66	10,27	15,30	0,00	0,00	0,00	0,00